SOCIÉTÉ L'AIR LIQUIDE
DÉPARTEMENT AFRIQUE FRANÇAISE

Cours de Soudure Autogène

1948

SOCIÉTÉ L'AIR LIQUIDE

DÉPARTEMENT AFRIQUE FRANÇAISE

Cours de Soudure Autogène



1948

COURS DE SOUDURE AUTOGÈNE

INTRODUCTION

DEFINITION DE LA SOUDURE AUTOGENE

La soudure autogène est un procédé d'assemblage de pièces fusibles de même nature, qui consiste à fondre les bords de ces pièces, à incorporer dans le joint un produit d'apport de même composition que les pièces à souder, fondu lui aussi, de façon à obtenir une liaison continue et homogène, les propriétés mécaniques du joint devant être les mêmes que celles des pièces à assembler.

Cette définition détermine bien le rôle du soudeur qui devra veiller, non seulement à bien fondre les parties des pièces à couder, mais aussi à obtenir un joint résistant, en utilisant toutes méthodes propres à combattre les phénomènes nombreux qui tendent à amoindrir la résistance de la soudure et qui se produisent au cours de son exécution ou au cours de son refroidissement.

Pour arriver à ce résultat, le soudeur doit connaître parfaitement le matériel nécessaire à la soudure autogène, le mode d'exécution des soudures, les défauts possibles et les moyens d'y remédier, les effets du chauffage et du refroidissement sur les pièces que l'on soude, enfin les particularités de la soudure appliquée aux différents métaux usuels.

Nous étudierons donc successivement tous ces points, mais avant d'entrer dans le vif du sujet, faisons un rapide historique de la question.

Historique

Si la terminologie « soudure autogène » est relativement récente, il n'en est pas de même du procédé, qui lui, remonte à la plus haute antiquité. Les fouilles égyptiennes, entre autres, ont amené la mise à jour de sarcophages en plomb soudés. La soudure à la forge, très pratiquée jusqu'à ces dernières années, est une soudure autogène bien caractérisée mais un peu spéciale, difficile à bien réaliser, mais qui a rendu pendant des siècles d'inappréciables services. La soudure à la forge de pièces volumineuses est malaisée et même impossible.

Prenons au contraire, une source de chaleur qui soit à une température très élevée : le chauffage des parties à souder sera très rapide, la chaleur n'aura pas le temps de se disperser. Nous pourrons donc porter

un point à fusion sans trop échauffer les parties voisines. Nous aurons des soudures étroites réalisées à grande vitesse, ce qui nous permettra de souder facilement toutes les pièces quelles que soient leur forme et leurs dimensions.

La physique et la chimie moderne ont justement mis à notre disposition des sources de chaleur à température très élevée, notablement supérieure aux températures de fusion des métaux usuels et permettant donc de les fondre facilement ; cela explique le grand développement pris par l'industrie de la soudure autogène au cours de ces dernières années.

La découverte de gaz combustibles qui dégagent en brûlant de grandes quantités de chaleur a permis de produire des flammes très chaudes, propres à la soudure.

La première flamme soudante fut la flamme **oxyhydrique** qui utilisait un mélange d'oxygène et d'hydrogène provenant tous deux de la décomposition de l'eau par électrolyse. En raison de la simultanéité de fabrication de ces deux gaz, il suffisait d'une seule installation pour obtenir les deux produits nécessaires à la soudure, ce qui explique la grande faveur dont ce procédé a joui pendant longtemps. Malheureusement, ce procédé avait de graves inconvénients : la température de la flamme ne dépassait pas 2300° et le produit de la combustion (vapeur d'eau) oxydait profondément le métal en fusion, modifiant ainsi sa nature et lui enlevant une grande partie de ses propriétés mécaniques.

Ensuite, pour des raisons économiques, d'autres flammes furent essayées; elles utilisaient des mélanges oxygène-gaz d'éclairage (flamme oxy-gaz) et oxygène-vapeurs d'essence (flamme oxy-essence), mais les résultats obtenus ne furent pas satisfaisants et elles furent rapidement abandonnées.

Le dernier procédé en date, seul employé actuellement, utilise un mélange d'oxygène et d'acétylène. C'est le procédé Oxy-acétylénique qui permet de dépasser la température de 3000°. Il est tellement vulgarisé que son appellation est devenue synonyme de soudure autogène. Allez dans n'importe quel atelier, soudure autogène, soudure au chalumeau, signifient toujours soudure oxy-acétylénique.

On peut aussi faire de la soudure autogène en utilisant la chaleur produite par les phénomènes électriques, soit sous la forme de soudure par résistance, soit sous celle de soudure électrique à l'arc, soudure à laquelle nous attribuerons un chapitre spécial.

Actuellement, la soudure autogène a fait ses preuves et a su s'imposer puisque, inconnue ou presque au début de ce siècle, elle est utilisée aujourd'hui jusque dans les plus petits ateliers, elle pourrait l'être davantage encore si elle était appliquée logiquement, mais ce n'est pas

toujours le cas, la routine suppléant trop souvent la réflexion. C'est pour cela que la Direction de l'Enseignement, convaincue que cette industrie nouvelle était un facteur important du progrès, a décidé d'en incorporer l'étude dans les programmes scolaires et de faire bénéficier les Ecoles d'une façon directe et spéciale de l'effort de vulgarisation, auquel la Société L'AIR LIQUIDE s'est consacrée dans le monde depuis de nombreuses années.

■

CHAPITRE I

PROPRIETES

L'Oxygène est un gaz dont la découverte date du 18ème siècle. Il se combine avec la plupart des corps soit très lentement, et la combinaison s'appelle alors oxydation, soit violemment, avec un grand dégagement de chaleur, et la combinaison porte alors le nom de combustion. Oxydation et combustion sont donc des phénomènes identiques qui donnent comme produits des oxydes. Ces phénomènes sont d'autant plus rapides que l'oxygène est plus pur. Dans l'air qui ne contient que 21 % d'oxygène ils sont assez lents, mais on peut les accélérer en augmentant la richesse en oxygène de l'atmosphère qui entoure les corps à oxyder. Si l'on fait brûler par exemple de l'acétylène dans l'air, la combustion sera lente, la puissance de la flamme sera faible et sa température peu élevée. Si, au contraire, nous faisons brûler cet acétylène dans de l'oxygène pur, la combustion sera très vive, la puissance de la flamme élevée, ainsi que sa température. Vous voyez tout l'intérêt que présente ce phénomène, pour l'obtention des hautes températures sans lesquelles la soudure autogène ne sauexister.

FABRICATION

Nous avons déjà vu que l'Oxygène pouvait être obtenu par électrolyse de l'eau, c'est-à-dire par la décomposition de celle-ci sous l'action d'un courant électrique. L'eau est composée d'oxygène et d'hydrogène, combinés ensemble, donc fortement liés; la séparation de ces éléments nécessite de grandes quantités d'énergie et des installations de valeur considérable. L'Oxygène ainsi obtenu était donc cher, la soudure autogène coûteuse et elle ne se développait que très lentement.

On rechercha alors un procédé plus économique et on imagina d'extraire l'oxygène de l'air qui en contient 21 % en volume environ, ainsi que nous l'avons déjà dit.

L'air contient encore de l'azote (79 % environ) et des gaz rares. L'Oxygène, l'azote et les gaz rares n'ont aucune action chimique les uns sur les autres dans les conditions où ils se trouvent ; ils sont simplement mélangés, ne sont pas liés les uns aux autres et leur séparation se fait sans grande dépense d'énergie.

Comme il était très difficile d'extraire directement l'oxygène de l'air, on a eu recours à un artifice que vous comprendrez très facilement : on a liquéfié de l'air et on a traité l'air liquide obtenu suivant une méthode analogue à celle appliquée au vin pour en tirer de l'alcool. Vous savez que le vin est, grossièrement, un mélange d'eau et d'alcool qui bouillent à des températures différentes et que, pour fabriquer l'alcool pur on distille le vin puis on rectifie le produit recueilli. De même, l'air liquéfié est un mélange d'oxygène liquide, d'azote liquide, de gaz rares liquides, et ces différents liquides bouillent aussi à des températures différentes. Il suffit donc de distiller puis de rectifier de l'air liquide pour séparer l'oxygène, l'azote et les gaz rares. Ces divers éléments, complètement purifiés par la rectification sont recueillis et utilisés par différentes industries.

L'opération intermédiaire qui consiste à faire passer l'air de l'état gazeux à l'état liquide nous paraît très simple maintenant, mais elle n'en a pas moins demandé des années de recherches laborieuses.

Pour fabriquer de l'air liquide, il faut refroidir l'air jusqu'à la température de —190°. On a demandé à l'air lui-même de fournir le froid nécessaire à sa liquéfaction; vous allez comprendre sans peine comment on a pu y arriver. Quand on comprime un gaz il s'échauffe et inversement, quand on détend un gaz comprimé il se refroidit.

Prenons donc de l'air, comprimons-le à haute pression dans un compresseur; il dégage de la chaleur. Enlevons cette chaleur au moyen d'une circulation d'eau entourant le cylindre du compresseur; nous aurons donc de l'air comprimé à la température de l'eau de circulation, c'est-à-dire à la température ordinaire. Détendons cet air brutalement : il se refroidira. Les machines de fabrication de l'Air Liquide sont basées sur ce principe du froid produit par la détente d'un gaz comprimé.

Comme nous l'avons déjà dit, cet air liquide est distillé, rectifié, et l'on a à la sortie des appareils de l'oxygène à 99 % de pureté, et même plus, de l'azote pur lui aussi, ainsi que des gaz rares : néon, argon, krypton, xenon, hélium.

L'azote sert à la fabrication des engrais azotés, de l'ammoniaque, au gonflement des pneus, au transvasement de liquides inflammables.

Le néon est le gaz utilisé pur ou en mélanges pour donner aux enseignes lumineuses de toutes les devantures modernes leurs belles luminescences orangée, violette, rose...

L'argon remplit les lampes à incandescence, dites 1/2 watt.

L'hélium sert an gonflement des ballons.

Et les applications des autres gaz sont actuellement étudiées.

Vous voyez que l'industrie de l'Air Liquide est une industrie extrêmement importante et que beaucoup d'autres industries vivent grâce à elle.

EMMAGASINAGE DE L'OXYGENE — TUBES

Reprenons la fabrication de l'oxygène au point où nous l'avons laissée : l'oxygène qui sort des appareils est pur et sec. Il est aspiré par des compresseurs et refoulé dans des bouteilles métalliques ou tubes, à la pression de 150 kgs/cm2. Ainsi on arrive à emmagasiner une grande quantité d'oxygène dans un récipient de volume réduit, dont la manipulation et le transport sont faciles.

Les compresseurs d'oxygène ont une particularité sur laquelle nous attirons très fortement votre attention : leur lubrification n'est pas réalisée avec de l'huile ou des matières grasses, mais par un jet d'eau distillée **car il ne faut jamais mettre de matières grasses en contact avec l'oxygène** surtout comprimé ou liquide; il pourrait se produire une oxydation très rapide occasionnant une véritable explosion qui pourrait causer de très graves accidents. Par suite de cette lubrification spéciale, l'oxygène que les bouteilles contiennent est humide, et nous verrons plus loin les sujétions auxquelles nous serons soumis de ce fait.

Ces bouteilles, appelées couramment, tubes, sont des cylindres d'acier étiré. Elles sont éprouvées par le Service des Mines avant d'être mises en circulation, et rééprouvées périodiquement.

Comme les industries de gaz comprimés sont très développées et que les gaz sont tous emmagasinés dans des tubes de même forme, il est indispensable de les différencier pour éviter des erreurs, causes de graves accidents. Pour cela, à chaque tube correspond un robinet bien déterminé dont les caractéristiques ont été approuvées et uniformisées pour le monde entier par un office international. Ainsi il n'est plus possible d'utiliser un gaz au lieu d'un autre. Vous savez peut-être qu'il y a eu de très graves accidents occasionnés par le démarrage de moteurs Diésel au moyen d'oxygène comprimé. Actuellement, tout danger est écarté puisque les bouteilles d'oxygène ne pourraient pas se brancher sur une tuyau-

terie portant un raccord pour robinet d'air comprimé, gaz utilisé normalement pour le lancement de ces moteurs.

PRECAUTIONS

L'industrie de la soudure autogène ne donne lieu qu'à un nombre infime d'accidents dûs aux bouteilles d'oxygène. Le seul risque, très grave sûrement est celui de l'explosion que l'on peut pratiquement supprimer en prenant les précautions nécessaires. Pensez que la Société L'AIR LIQUIDE remplit dans ses usines du monde entier, plusieurs milliers de bouteilles d'oxygène chaque jour, et que pas un seul accident n'y a été enregistré depuis plusieurs années déjà. Cela tient à ce que le personnel de ces usines est soumis à des règles rigoureuses, concernant la sécurité. Chez beaucoup trop d'utilisateurs au contraire, on ignore totalement les précautions à prendre. Si vous voulez être à l'abri d'accidents, imposez-vous et imposez à ceux qui travaillent à côté de vous :

1°) De manipuler les bouteilles sans choc, donc de ne pas les décharger brutalement, car vous savez que lorsqu'on martèle un métal à froid on l'écrouit et que l'écrouissage rend les métaux fragiles.

2°) De ne pas se servir des bouteilles comme de mandrins de forme pour forger des colliers ou toute autre pièce de serrurerie.

3°) De ne pas chauffer les bouteilles et de prendre toutes précautions pour éviter un échauffement anormal (ne pas laisser les bouteilles près d'un foyer violent, ne pas suspendre par ses tuyaux après une bouteille, un chalumeau allumé). Les gaz se dilatent beaucoup plus vite que les solides et par conséquent, si vous échauffez une bouteille contenant un gaz comprimé, la pression intérieure augmentera jusqu'à amener peut-être une explosion.

4°) De ne pas graisser les robinets ni aucun organe pouvant être en contact avec de l'oxygène, car, comme nous l'avons déjà vu, les corps gras peuvent s'enflammer spontanément au contact de l'oxygène comprimé et produire des explosions.

Il serait bon que dans chaque atelier une pancarte très visible fixée au-dessus des postes de soudure rappelle au personnel toutes les précautions qui doivent être prises. Il en est d'autres que celles que nous avons vues ci-dessus, et que nous étudierons plus loin lorsque nous parlerons de l'acétylène et du matériel composant les postes.

CHAPITRE II

PROPRIETES

L'Acétylène est un gaz composé de deux corps très combustibles : le carbone et l'hydrogène. Il est combustible lui aussi et il dégage en brûlant une grande quantité de chaleur. Il est plus léger que l'air : 1 litre d'acétylène pèse 1 gr. 11, **alors** qu'un litre d'air pèse 1 gr. 29.

Il a une odeur particulière, même pur ; l'acétylène que l'on obtient dans l'industrie est chargé d'impuretés qui lui donnent une odeur assez désagréable.

La formation de ce gaz absorbe une grande quantité de chaleur qui est libérée lors de sa décomposition. Cette décomposition peut se produire sous l'effet d'une haute température, et d'autant plus facilement que l'acétylène est plus comprimé, on a alors une explosion. C'est pourquoi la compression de l'acétylène présente de sérieux dangers.

Si, au cours de sa fabrication, l'acétylène est porté à une température supérieure à 120°, il ne se décompose pas, mais il se transforme pour donner naissance à des produits qui n'ont pas les mêmes propriétés et sont impropres à la soudure, on dit qu'il se polymérise.

L'acétylène mélangé à de l'air ou à de l'oxygène en certaines proportions présente des dangers d'explosibilité on peut donc avoir des explosions pour 2 causes : **décomposition et mélange** avec l'air, ou l'oxygène.

Comme tous les gaz, l'acétylène est soluble dans les liquides et particulièrement dans l'**acétone;** nous verrons que cette propriété est très intéressante puisque c'est elle qui permet d'avoir de l'acétylène comprimé sous forme dissoute sans aucun danger.

FABRICATION

En laboratoire on a réalisé la synthèse de l'acétylène, c'est-à-dire la combinaison directe du carbone et de l'hydrogène qui le composent. Ce procédé très coûteux ne peut pas être utilisé dans l'industrie. Au lieu de fabriquer directement l'acétylène, on fabrique d'abord un corps intermédiaire qui est le carbure de calcium appelé couramment carbure. Ce corps est composé de carbone et de calcium. Pour l'obtenir on mélange dans des fours électriques des charbons naturels qui contiennent beaucoup de carbone et des calcaires qui, eux, contiennent beaucoup de calcium. On ne peut pas utiliser des produits chimiquement purs qui coûteraient trop cher.

Donc, dans le four électrique il y a des charbons, des calcaires et de la chaleur, ces éléments réagissent les uns sur les autres et le carbure de calcium obtenu sera composé de carbone, de calcaire et aussi de cha-

leur qui restera emmagasinée jusqu'à ce que le carbure se décompose; à ce moment-là elle sera libérée.

Le carbure de calcium qui est liquide à haute température est coulé en pains qui, après concassage, donnent des morceaux que l'on calibre dans des tamis et que l'on classe en :

— Concassés courants ;
— Concassés spéciaux ;
— Granulés.

La fabrication de l'acétylène à partir du carbure de calcium est simple, et vous la connaissez : On met en contact du carbure et de l'eau ce qui donne de l'acétylène, qui se dégage, de la chaux sous forme de boues, et de la chaleur; la quantité de chaleur que l'on recueille n'est pas égale à celle absorbée dans le four électrique, car nous avons déjà vu que la formation d'acétylène en absorbe une grande quantité. En définitive, il se passe les phénomènes suivants :

Au contact de l'eau, le carbure se décompose en carbone et en calcium et libère toute la quantité de chaleur absorbée dans le four. L'eau elle-même se décompose en oxygène et hydrogène.

Le carbone et l'hydrogène se combinent en absorbant la plus grande partie de la chaleur libérée et donnent de l'acétylène qui est donc composée de carbone + hydrogène + chaleur.

L'oxygène, le calcium et l'eau se combinent pour donner de la chaux éteinte.

La quantité de chaleur restante échauffe l'eau et la chaux.

Si l'on utilisait du carbure de calcium parfaitement pur, il en faudrait 3 kilogs pour produire 1 m3 d'acétylène. Mais, comme il n'est pas pur, il en faut environ 3 kgs. 600 en laboratoire, c'est-à-dire dans la pratique industrielle au moins 4 kgs. 500 sans tenir compte des pertes.

LES GENERATEURS D'ACETYLENE

Les générateurs d'acétylène sont les appareils dans lesquels on fabrique l'acétylène en mettant en contact, par des procédés différents, l'eau et le carbure. On les divise en 3 grandes classes :

1°) Générateurs basse-pression donnant une pression d'acétylène de l'ordre de 20 grs. cm2.

2°) Générateurs moyenne pression donnant une pression d'acétylène de l'ordre de 250 grs. cm2.

3°) Générateurs haute pression donnant une pression d'acétylène de l'ordre de 1 k. 500/cm2.

A) GENERATEURS BASSE PRESSION :

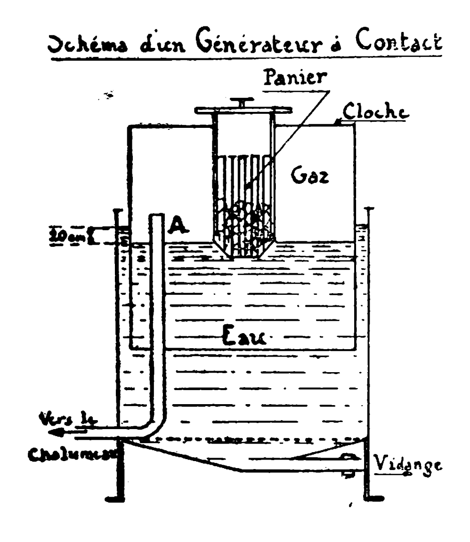
Ces appareils sont tous constitués par une cuve pleine d'eau, dans laquelle peut se mouvoir une cloche mobile qui forme gazomètre. Les déplacements de la cloche commandent la mise en contact du carbure et de l'eau et règlent donc la fabrication de l'acétylène. On a classé ces générateurs suivant le mode de contact de l'eau et du carbure en :

— Générateurs à contact ;

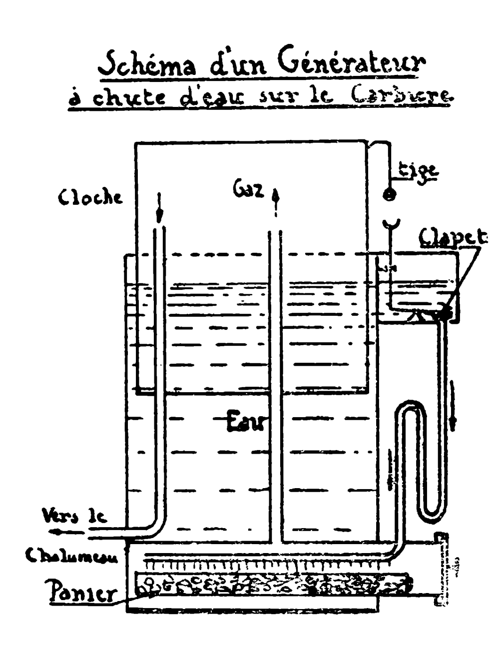
— Générateurs à chute d'eau ;

— Générateurs à chute de carbure.

I. — **Générateurs à contact.** — Dans les générateurs à contact, la cloche mobile porte à sa partie supérieure un panier perforé, dans lequel on place le carbure. Lorsque la cloche est vide, le panier plonge dans l'eau, il y a donc contact entre l'eau et le carbure et dégagement d'acétylène ; celui-ci prend une pression correspondant au poids de la cloche et cette dernière s'élève. A un certain moment, le panier est hors de l'eau et la production d'acétylène est interrompue (cela n'est pas tout à fait exact, car le carbure est humide et continue à se décomposer). Quand on travaille, l'acétylène s'échappe par la tuyauterie A, la cloche descend, le panier rentre à nouveau dans l'eau et l'acétylène se produit à nouveau. Ces appareils sont simples, robustes et assez facilement transportables; mais leur débit est irrégulier, ils présentent des risques d'échauffement et de surproduction. On ne les emploie guère que pour les petits débits.



II. — **Générateurs à chute d'eau.** — Dans ces générateurs l'eau peut tomber, en quantité réglable, sur le carbure placé dans des paniers fixes. Le croquis ci-contre vous en fera comprendre le fonctionnement: Le robinet qui sert au réglage de l'eau est commandé par l'intermédiaire d'une tige solidaire de la cloche : lorsque la cloche est à sa disposition basse, c'est-à-dire lorsqu'elle est vide, le robinet est grand ouvert. Il y a donc une arrivée importante d'eau et grande production d'acétylène. Dès que la cloche s'emplit et remonte, le robinet diminue l'écoulement d'eau et se ferme, avant même que la cloche ait atteint sa position supérieure.



On peut trouver d'autres systèmes que le robinet, commandés eux aussi par les déplacements de la cloche. Dans les générateurs Excelsior, on utilise un siphon indésamorçable.

Ces appareils sont un peu plus compliqués que les précédents, mais ils ont un excellent fonctionnement. A signaler toutefois qu'il faut entretenir soigneusement les paniers du carburateur et que la vidange des boues n'est pas très commode. Ce sont les plus employés dans les moyens et petits ateliers.

III. — **Générateurs à chute de carbure.** — Leur principe est un peu le même que celui des appareils à chute d'eau, mais c'est l'arrivée du carbure qui est commandée par les déplacements de la cloche. C'est le

cas des générateurs Javal dont le fonctionnement est le suivant : Lorsque la cloche descend, elle agit sur un mécanisme qui entraîne la roue A, portant les godets B, qui ont un fond articulé, avec charnière et fixé au moyen du crochet C.

Schéma d'un Générateur à chute de Carbure

Quand elle est à sa position inférieure, un de ces godets B' arrive au-dessus de la trémie de chargement, son crochet de fermeture heurte la butée D, le godet s'ouvre et laisse tomber sa charge dans le générateur. Lorsque le mécanisme est bien étudié, les appareils à chute de carbure donnent du gaz froid, ont une marche très souple et se vidangent facilement. Au contraire, ces appareils peuvent être très dangereux lorsque la chute de carbure n'est pas parfaitement réglable. C'est le cas des appareils à clapet pour carbure granulé qu'il faut absolument prohiber.

Les appareils à chute de carbure s'emploient surtout dans les grandes installations.

B) GENERATEURS MOYENNE PRESSION :

Ces générateurs sont généralement à refoulement d'eau.

Quand la chambre à gaz A est vide de gaz, elle est pleine d'eau. Le robinet R est fermé. Pour produire de l'acétylène on ouvre le robinet R, l'eau arrive dans le carburateur, et entre en contact avec le carbure. L'acétylène se dégage, passe par le tube T dans la chambre A et fait baisser le niveau de l'eau dans cette chambre; dès que le niveau d'eau est au-dessous de la ligne MN, l'eau n'arrive plus au carburateur, il n'y a donc plus de production d'acétylène.

Schéma d'un Générateur à moyenne pression

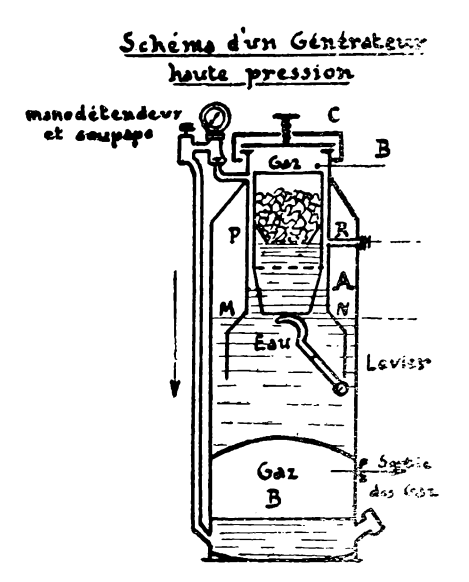
La pression dans la chambre A, c'est-à-dire la pression donnée par le générateur est égale à la hauteur H (on compte 1 gramme de pression par centimère de hauteur).

Ces appareils sont peu employés parce qu'ils offrent peu d'intérêt industriel.

C) GENERATEURS HAUTE PRESSION :

Ces générateurs sont également à refoulement d'eau.

A la mise en route, la chambre A est remplie d'air ; le niveau de l'eau est en MN dans le corps du générateur et en PR dans la manche de chargement. La pression régnant dans la chambre A est donc égale à la hauteur H. On met le panier de carbure dans la manche de chargement, mais pas en contact avec l'eau, puis on ferme le couvercle autoclave C. On descend alors le panier dans l'eau au moyen d'un levier : il se produit de l'acétylène qui emplit la partie B de l'appareil et exerce une pression sur la surface de l'eau. Le niveau PR s'abaisse, tandis que le niveau MN remonte; la pression augmente donc dans la chambre A qui forme amortisseur-récupérateur. A un certain moment le niveau PR est suffisamment bas pour que le panier soit hors de l'eau, d'où arrêt dans la production. Si la pression baisse dans la chambre B le niveau PR remonte, le carbure est de nouveau en contact avec l'eau et il y a production d'acétylène.

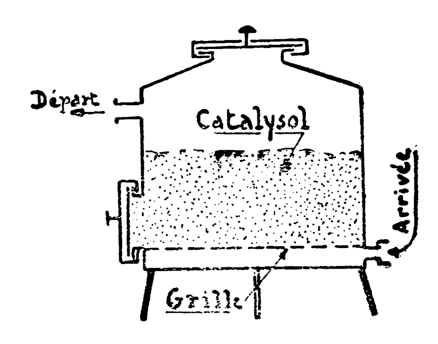


Ces générateurs sont munis de soupapes de sûreté et d'appareils détendeurs permettant de régler facilement la pression au chalumeau. Ils ont un fonctionnement très simple et sont facilement transportables. Ils présentent par contre certains dangers dûs à la compression de l'acétylène et leurs vidange et rechargement demandent un nettoyage complet de l'appareil. Ils sont soumis à des prescriptions sévères que nous énoncerons plus loin.

EPURATION DE L'ACETYLENE

Nous avons vu que le carbure de calcium était fabriqué en partant de produits naturels : charbons et calcaires; ces produits naturels contiennent des impuretés, et, en particuliers du soufre et du phosphore. Ces 2 corps se trouveront donc dans le carbure, et ils donneront, en présence de l'eau, des composés gazeux sulfurés et phosphorés qui seront entraî-

nés par l'acétylène. Ces composés, hydrogène phosphoré et hydrogène sulfuré fixeront leur soufre et leur phosphore sur les métaux portés à haute température et les rendront fragiles.



Il est donc indispensable de les éliminer au moyen de produits chimiques, dans des appareils appelés **épurateurs** qui sont des accessoires indispensables des générateurs.

Un épurateur est simplement constitué par un récipient de surface convenablement choisie, suivant le débit, muni de grilles sur lesquelles on étale, sans la tasser, la matière épurante **« Catalysol »**.

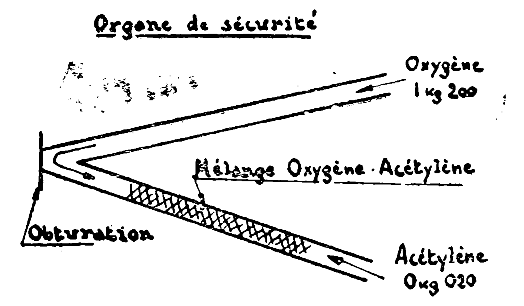
Lorsque le catalysol aura absorbé une granquantité d'impuretés, il en sera saturé et ne sera plus actif. On pourra alors le régénérer en l'exposant à l'air, à l'abri du soleil, mais son pouvoir épurant aura diminué. En pratique on compte que 1 kilog de Catalysol peut épurer l'acétylène produit par 40 kilogs de carbure, au cours de la première utilisation, et un peu moins après régénération. Au total, l'épuration revient à peu près à 2 ou 3 % de la dépense du carbure de calcium.

Il existe un moyen simple de déterminer à quel moment la matière épurante n'est plus active. Prenez un morceau de papier buvard blanc, imbibez-le d'une solution alcoolique de nitrate d'argent à 5 %, liquide incolore que vous achèterez chez n'importe quel pharmacien. Présentez alors le papier buvard à la sortie d'acétylène du générateur; si l'épuration est bonne, le buvard restera blanc, si elle est défectueuse, le buvard brunira rapidement. Il faudra alors changer la matière épurante « Catalysol » ou la régénérer.

ORGANES DE SECURITE

L'acétylène fourni par un générateur, sous une pression de 20 à 1500 grammes/cm2, arrive au chalumeau à une pression légèrement inférieure. La pression d'utilisation de l'oxygène varie de 1 à 5 kg/cm2. Dans le cas

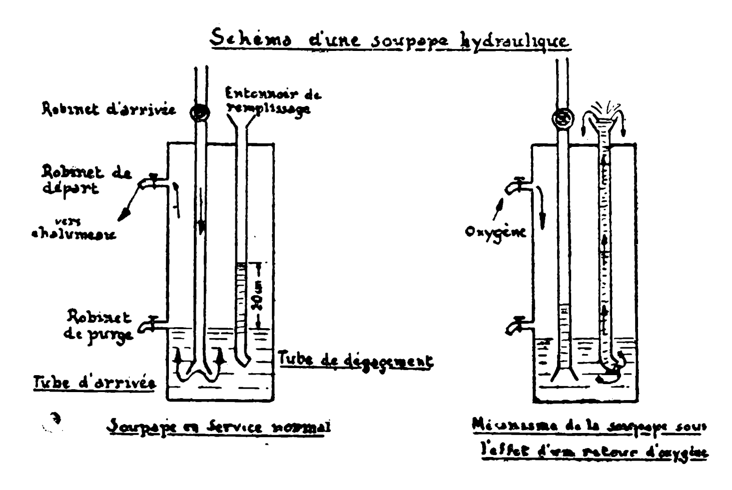
d'obturation de la buse du chalumeau, organe producteur de la flamme, l'oxygène refoule l'acétylène, envahit sa canalisation, remonte jus-



qu'à la cloche du générateur où l'on risque la formation d'un mélange détonnant. La soupape hydraulique et la soupape sèche sont des organes de sécurité qui doivent s'opposer à cet incident que l'on appelle un retour d'oxygène.

SOUPAPE HYDRAULIQUE

Nous allons vous expliquer le fonctionnement de la soupape hydraulique sur le croquis ci-contre.



Lorsque l'appareil est en marche, le robinet d'arrivée est ouvert, ainsi que le robinet de départ, sur lequel est branché le tuyau de caoutchouc allant au chalumeau. Le robinet de jauge est fermé. Dans le corps cylindrique de la soupape l'eau affleure l'orifice de jauge. Les tubes d'arrivée et de dégagement plongent dans l'eau de quantités inégales. Remar-

quez bien que le tube d'arrivée descend plus bas que le tube de dégagement. L'acétylène passe par la tranche inférieure du tube d'arrivée, barbote dans l'eau, se répand dans le corps et s'échappe par le robinet de départ.

Supposons que se produise alors un retour d'oxygène ; ce gaz va remplir le corps de la soupape à sa pression (1 à 5 k.) agissant sur la surface de l'eau qui va monter dans les 2 tubes. Une partie de l'eau s'échappe par le tube de dégagement dont l'orifice inférieur va être découvert et l'oxygène s'échappera vers l'extérieur. Nous avons donc acquis un premier résultat : l'oxygène ne peut pas pénétrer dans le générateur, le second résultat est que l'arrivée de l'acétylène est supprimée, car la colonne d'eau refoulée dans le tube d'arrivée s'y oppose. On ne risquera donc pas, à ce moment, formation de mélange détonnant dans le corps de la soupape.

Naturellement, il faut, pour une marche sûre, avoir dans la soupape la quantité d'eau nécessaire. Pour cela il faut jauger la soupape en faisant les opérations ci-dessous :

1°) Fermer le robinet d'arrivée et le robinet de jauge, ouvrir le robinet de départ ;

2°) Verser de l'eau par l'entonnoir ;

3°) Fermer le robinet de départ, ouvrir le robinet d'arrivée et le robinet de jauge, l'eau en excès est évacuée ;

4°) Refermer le robinet de jauge dès l'apparition de bulles gazeuses ; à ce moment la soupape jaugée est prête à fonctionner.

Un jaugeage initial n'est pas suffisant : chaque bulle de gaz qui barbote dans l'eau en entraîne toujours quelques particules, et au bout d'une journée de travail, surtout avec de gros débits, la soupape doit être jaugée à nouveau. Pour être certain de n'avoir aucun ennui, il est prudent de faire un jaugeage chaque matin. Le seul entretien consiste en l'enlèvement des boues qui auraient pu se déposer dans le fond.

Lorsqu'elles sont bien construites, les soupapes hydrauliques qui sont basées sur un principe physique, donnent une sécurité absolue. Dans le cas contraire, leur action est parfaitement nulle et c'est pourquoi il ne faut jamais essayer d'en construire par ses propres moyens.

SOUPAPE SECHE

Les soupapes hydrauliques que l'on devrait placer à la sortie des générateurs haute pression devraient avoir des dimensions considérables (15 mètres de haut environ). Aussi leur emploi a-t-il été rejeté. On a alors étudié un nouveau type de soupape, la soupape sèche, dont le but est aussi de s'opposer aux retours d'oxygène.

Schéma d'une Soupape sèche

D
A
Bille
B
C
Robinet de vidange

Cet appareil est constitué par un corps cylindrique A, avec un diaphragme B qui peut être obturé par une bille en matière plastique.

En fonctionnement normal, l'acétylène arrive par le tube d'arrivée C, soulève la bille et passe dans le caoutchouc par le raccord D.

S'il y a retour, l'oxygène arrivant sous forte pression au-dessus de la bille applique celle-ci fortement sur son siège, et l'oxygène ne peut pas envahir la canalisation d'acétylène.

Ces soupapes, qui donnent de très bons résultats, même avec des pressions d'acétylène de l'ordre de 10 grs/cm2, peuvent être montées sur tous les types de générateurs.

Prescriptions administratives relatives aux générateurs

Précautions

Prescriptions. — Les générateurs sont des appareils dangereux dont l'utilisation demande de sérieuses précautions. Le nombre élevé d'accidents que l'on eut à déplorer et qui firent de nombreuses victimes amena les Pouvoirs Publics à réglementer strictement l'emploi des appareils générateurs. Les industries les utilisant sont soumises aux règlements en

vigueur concernant les établissements dangereux, incommodes et insa-reil générateur d'acétylène, doit d'abord se rendre compte dans quelle classe l'appareil doit être rangé.

1°) **Générateur basse pression — placé dans un local spécial :** il suffit de faire une déclaration écrite à la Préfecture, accompagnée des caractéristiques de l'appareil avec croquis au 1/200e de l'atelier et des locaux voisins

2°) **Générateur basse pression utilisé dans l'atelier :** il faut faire une demande comme pour le premier, mais on doit attendre l'autorisation subordonnée aux résultats d'une enquête de commodo et incommodo.

3°) **Générateur haute pression** (plus de 500 gr/cm2) : comme pour le deuxième, il faut faire une demande d'autorisation; il est interdit de mettre l'appareil en service avant d'en avoir reçu l'autorisation. De plus, ces appareils seront soumis à une réépreuve périodique, tous les 5 ans, dans les mêmes conditions que les appareils à vapeur, les frais entraînés par cette opération (matériel d'épreuve et rémunération de l'Ingénieur des Mines) étant à la charge du propriétaire de l'appareil.

Précautions. — Ces prescriptions ne sont naturellement pas suffisantes pour écarter tous risques d'accident. Il appartient à l'usager de prendre toutes précautions utiles pour se garantir contre ces risques pendant l'exercice de son métier.

— Placer bien en vue une pancarte portant : « Défense de fumer », « Défense de s'approcher avec une flamme nue ».

— Eviter de placer des fils électriques, et à plus forte raison les interrupteurs, dans la cabine du générateur, éclairer celle-ci par des hublots.

— Ne jamais effectuer de réparation sur l'appareil avec un chalumeau, un fer à souder ou toute autre source de chaleur, avant de l'avoir complètement démonté, lavé à grande eau et bien aéré.

— Faire les nettoyages au grand jour.

— Eviter que l'appareil contienne à la mise en route un mélange air-acétylène. Pour cela, après la première charge de carbure, il faut le vidanger jusqu'à ce qu'on soit sûr que tout l'air a été évacué.

— Protéger l'appareil contre les gelées en cas de grands froids.

— Enfin, l'entretenir de façon à être toujours certain de son bon fonctionnement.

CANALISATION D'ACETYLENE

Les canalisations sont le lien entre l'appareil producteur et le chalumeau, appareil utilisateur.

Pour les générateurs transportables, on utilisera des tuyaux de caoutchouc armés ou non.

Pour les installations fixes comportant des postes très éloignés du générateur, il sera nécessaire d'établir une canalisation en tubes à gaz, d'un diamètre suffisant pour que tous les postes étant en fonctionnement, le dernier reçoive l'acétylène sous une pression assez élevée pour la bonne marche du chalumeau, il faudra autant que possible éviter les coudes brusques. Chaque poste intermédiaire branché sur la canalisation principale devra être muni d'une soupape hydraulique ou sèche.

ACETYLENE DISSOUS

Dans bien des cas la fabrication de l'acétylène dans un générateur au moment de son utilisation entraîne quelques ennuis. Pour s'en affranchir, on a songé à emmagasiner l'acétylène dans des bouteilles comme on le fait pour d'autres gaz. Mais nous savons que l'acétylène comprimé à forte pression présente de graves dangers d'explosion et que par conséquent cette solution était à rejeter. MM. Georges CLAUDE et HESSE ont songé alors à faire dissoudre l'acétylène dans un liquide qui aurait, vis-à-vis de ce gaz, un très grand pouvoir absorbant. Ils ont déterminé que l'**acétone,** liquide obtenu par distillation du bois, répondait aux conditions et ils vérifièrent que l'on pouvait, sans danger, comprimer de l'acétylène dans l'acétone à plus de 25 kgs/cm2 et que l'on pouvait aussi, grâce à cet artifice, emmagasiner, sous un volume réduit et une pression peu élevée (15 kgs/cm2), une quantité d'acétylène égale à celle que l'on emmagasinerait en le comprimant à 120 kgs dans le même espace vide. On bénéficiait donc ainsi de tous les avantages d'une compression élevée, sans en avoir les dangers.

Bouteilles d'acétylène dissous. — Les bouteilles d'acétylène dissous sont constituées par une enveloppe cylindrique étirée que l'on a bourrée

sous vide, avec une matière poreuse. Le rôle de cette matière est double :

1°) Elle doit faciliter la répartition de l'acétone dans la bouteille, comme le ferait une éponge, et faciliter aussi le contact entre l'acétylène et l'acétone.

2°) Elle joue un rôle d'arrêt d'explosion. Ses porosités sont en effet tellement fines qu'elles s'opposeraient à la propagation d'une explosion localisée qui pourrait prendre naissance à l'intérieur de la bouteille.

Schéma d'une bouteille d'acétylène dissous

Matière poreuse

En raison du mode spécial d'emmagasinage de l'acétylène dans ces bouteilles, on ne peut pas déterminer la quantité de gaz contenu, de la même façon que pour les bouteilles d'oxygène. En effet, pour une même quantité d'acétylène, la pression peut varier considérablement suivant la pureté de l'acétylène, la pureté de l'acétone, la quantité d'acétone, l'état de la matière poreuse et aussi suivant la température. Aussi, le calcul de la quantité d'acétylène se fait d'après le poids et non d'après la pression.

Lorsque l'acétylène n'est pas parfaitement épuré, sa dissolution devient très difficile sous les pressions habituelles; la pureté absolue est donc une condition obligatoire pour la fabrication de l'acétylène dissous et c'est ce qui explique que les soudures réalisées avec cet acétylène sont des soudures de haute valeur.

Précautions. — Comme les bouteilles d'oxygène, les bouteilles d'acétylène dissous doivent être manipulées sans chocs et il faut les tenir à l'abri du feu.

Lorsqu'une bouteille est vide, il faut fermer soigneusement son robinet, car l'acétone est très volatile, s'évapore facilement, et qu'il faut avant de

recharcher une bouteille en acétylène, refaire le plein d'acétone ce qui coûte très cher, s'il manque beaucoup de ce produit.

La libération de l'acétylène n'est pas spontanée, les bouteilles ne doivent donc pas être vidées trop rapidement sous peine d'apporter des troubles à l'opération : entraînement d'acétone, épuisement incomplet. On ne doit pas imposer à une bouteille un débit trop important et on a fixé le débit maximum à 1.000 litres/heure. Pour les débits plus élevés, il faut brancher plusieurs bouteilles ensemble, au moyen de **rampes d'accouplement,** de façon que chaque bouteille n'ait pas à fournir plus de 1000 litres/heure.

C'est encore pour éviter des entraînements d'acétone qu'il ne faut jamais vider les bouteilles complètement. Ne croyez pas réaliser des économies en soudant avec une flamme chargée d'acétone, votre flamme sera en effet beaucoup moins chaude, ce qui entraînera des pertes de temps et d'oxygène.

Enfin ne placez pas les bouteilles d'acétylène horizontalement en cours de soudure, car vous risquez encore des entraînements d'acétone. Mettez-les donc verticales ou encore, inclinez-les en faisant reposer l'ogive sur une caisse.

COMPARAISON DE L'ACETYLENE PRODUIT DIRECTEMENT PAR UN GENERATEUR ET DE L'ACETYLENE DISSOUS

L'acétylène dissous et celui fourni par un générateur ont chacun leurs partisans. Nous allons voir quels sont les arguments en faveur de chaque procédé.

A) Acétylène dissous :

— Parfaitement pur de par son mode de fabrication, il sera à conseiller toutes les fois où il s'agira de travaux délicats et particulièrement pour les soudures sur aluminium. Dans le cas de la soudure du plomb, il y a obligation absolue à utiliser l'acétylène dissous, les quelques impuretés non arrêtées par l'épurateur d'un générateur rendant cette soudure impossible.

— Bouteilles facilement transportables et sans danger, donc à utiliser sur tous chantiers extérieurs.

— Fonctionnement des chalumeaux plus réguliers; réglage plus facile et plus normal, donc économie d'oxygène.

— Facilité et rapidité de mise en route et d'arrêt des postes. Il suffit en effet de donner un tour de clé pour ouvrir ou fermer les bouteilles cela évite les pertes de temps et aussi les pertes de gaz.

— L'installation d'un poste qui utilise l'acétylène dissous n'est soumise à aucune prescription administrative. Les Compagnies d'assurance elles-mêmes ne font pas payer de surprime pour de tels postes.

B) **Acétylène fourni par un générateur :**

— Techniquement l'emploi d'un générateur d'atelier pour la fabrication de l'acétylène ne se justifie pas car il ne présente, à ce point de vue, que des inconvénients par rapport à l'acétylène dissous.

— Le seul argument qui paraisse favorable à cet emploi est que le prix du mètre cube d'acétylène dissous est plus élevé que celui de l'acétylène fabriqué à l'atelier avec un générateur. Cette question demande à être vue de très près et il faut arriver, pour en discuter, à établir un prix de revient très exact de l'acétylène obtenu par chacun des 2 procédés.

Dans le prix de l'acétylène dissous il faut compter le prix d'achat du gaz et les frais de transport s'il y a lieu.

Dans le prix de l'acétylène obtenu avec un générateur il faut compter la valeur du carbure utilisé, à raison, nous l'avons déjà vu, d'au moins 5 kgs de carbure par mètre cube. Il ne faut pas oublier le coût de l'épuration, le temps passé à la mise en route (charge d'eau, charge de carbure, vérification du fonctionnement) ou à l'entretien (vidange des boues, nettoyage de l'épurateur et de la soupape, entretien du générateur lui-même). Il ne faut surtout pas oublier l'amortissement du générateur. Ce facteur qui est souvent négligé est très important. On peut admettre qu'un générateur est hors d'usage au bout de 4 ou 5 ans à condition d'être bien entretenu. On peut dire que dans la plupart des cas l'acétylène dissous ne revient pas plus cher que celui fabriqué directement. D'ailleurs, de très gros ateliers qui consomment 1500 m3 d'acétylène par mois ont supprimé les générateurs et utilisent exclusivement les bouteilles d'acétylène dissous. Cela prouve mieux que tous les arguments que cette solution est vraiment avantageuse.

■

CHAPITRE III

LES POSTES

Un poste de soudure est l'ensemble du matériel nécessaire à l'exécution de soudures oxy-acétyléniques.

On a coutume de classer les postes de soudure en postes « Haute Pression » et « Postes Basse pression » suivant que la source d'acétylène est à haute ou basse pression.

Un poste haute pression se compose de :

— 1 bouteille d'oxygène ;

— 1 bouteille d'acétylène dissous ou 1 Générateur haute pression ;

— 2 systèmes de détente pour l'oxygène et l'acétylène ;

— 2 tuyaux de caoutchouc reliant les sources de gaz au chalumeau ;

— 1 chalumeau.

Nous avons déjà étudié les bouteilles d'oxygène et d'acétylène ainsi que les générateurs. Nous allons maintenant voir les appareils de détente.

MANODETENDEURS

Pour qu'un chalumeau fonctionne bien il faut qu'il soit alimenté en oxygène et acétylène, sous des pressions parfaitement constantes, et il est nécessaire pour y arriver d'utiliser des appareils de détente.

Prenons par exemple une bouteille d'oxygène à 150 kgs/cm2 de pression. En ouvrant légèrement la vanne nous pourrons obtenir à la sortie une pression de 1 kg/cm2 nécessaire au bon fonctionnement du chalumeau. Mais au bout d'un certain temps de travail, la pression dans la bouteille sera tombée à 100 kgs/cm2. L'ouverture de la vanne n'ayant pas varié la pression au chalumeau baissera et pour la rétablir il nous faudra ouvrir un peu plus le robinet de la bouteille. Ainsi, nous serons à chaque instant obligés de contrôler la pression et de manœuvrer la vanne, ce qui est incompatible avec un travail régulier. Ce qui se produit pour une bouteille d'oxygène se produit également pour les bouteilles d'acétylène dissous et pour les générateurs haute pression. On a donc été amenés à étudier des appareils appelés **détendeurs** ou **manodétendeurs** dont le rôle est non seulement de réduire la pression du gaz jusqu'à la pression d'utilisation, mais aussi et surtout à maintenir cette valeur constante.

Sur les générateurs haute pression, cet appareil fait partie de l'ensemble. Au contraire, il est indépendant dans le cas de bouteilles à gaz comprimé. Le fonctionnement en est identique ; seule, varie la réalisation pratique.

Fonctionnement. — Extérieurement le manodétendeur se compose :

Schéma d'un manodétendeur

D'un raccord complémentaire de celui du robinet de la bouteille. D'une chambre et d'un manomètre haute pression. D'une chambre et d'un manomètre basse pression. D'une vis de détente. D'un raccord de sortie et d'un robinet de départ.

A l'intérieur se trouvent les organes détendeurs et régulateurs dont vous allez suivre le fonctionnement.

Avant la mise en route du chalumeau, la vis de détente V est desserrée, la membrane de caoutchouc M est libre, le ressort R1, ressort de compression appuie sur le levier L qui, articulé en O, presse la pastille obturatrice en ébonite P sur l'orifice qui fait communiquer la chambre Basse Pression avec la chambre Haute Pression. La tension du ressort dans ces conditions a été établie de façon que son action résultante sur la pastille soit supérieure à la poussée du gaz contenu dans la bouteille, dans sa plus forte pression. La chambre Haute Pression est donc complètement isolée de la chambre Basse Pression. Le manomètre HP indique la pression de la bouteille. Le manomètre BP est au zéro.

Si vous voulez mettre le chalumeau en route, il suffira de visser la vis V qui comprimera les 2 ressorts R1 et R2. A un certain moment la poussée du gaz sur la pastille sera supérieure à l'action du ressort, la pastille se soulèvera et la chambre Basse Pression se remplira.

Il suffira de visser la vis V jusqu'à ce que la pression soit égale à 1 kg. par exemple. Si la pression tend alors à augmenter dans la chambre BP, la membrane de caoutchouc M se déformera vers l'extérieur, comprimant le ressort R2 et libérant R1 dont l'action prépondérante réduira l'ouverture de la pastille; si au contraire la pression tend à baisser, la membrane se déforme vers l'intérieur, comprimant le ressort R1 dont l'action devient moindre, ce qui permet l'ouverture plus grande de la pastille. Aussi, la pression dans la chambre égale à la pression d'utilisation, se stabilise automatiquement.

MONTAGE

Manodétendeurs d'oxygène : Le joint « Manodétendeur-Robinet » se fait métal sur métal (laiton sur laiton) par joint conique dont le serrage est obtenu au moyen d'une tige filetée et d'un écrou à oreilles. Pour le montage il faut :

1°) Avant de brancher le manodétendeur, purger la bouteille pour expulser les poussières qui auraient pu s'accumuler dans le cône du robinet.

2°) Visser à fond l'écrou à oreilles sur le robinet.

3°) Assurer la portée en vissant la queue filetée dans l'écrou. Au besoin, rectifier le serrage de façon à ce que la lecture des manodétendeurs soit commode, et que le raccord de sortie soit placé normalement.

Schéma de fixation d'un mano Oxygène

Manodétendeurs d'acétylène : Le joint « Manodétendeur-Robinet » se fait par serrage sur une rondelle en cuir gras au moyen d'un étrier.

Pour le montage :

1°) Visser l'étrier sur la queue du manodétendeur.

2°) Coiffer le robinet avec l'étrier et faire le joint en vissant la vis de butée.

Précautions. — Si les filetages des manodétendeurs oxygène sont durs, ne les graisser jamais, mais rectifiez-les au moyen d'une filière ou d'une lime triangulaire fine.

Quelle que soit la destination d'un manodétendeur, il faut toujours s'assurer, avant d'ouvrir le robinet de la bouteille que la vis de détente

est complètement desserrée. Si la vis était serrée, la pastille ne serait pas appliquée sur son siège; au moment de l'ouverture du robinet de la bouteille on enverrait donc la pression totale, soit 150 kgs/cm2 pour l'oxygène, dans la chambre de détente. Vous risqueriez donc de mettre hors d'usage le manomètre basse pression. Mais pour les manodétendeurs d'oxygène il y a un risque beaucoup plus grave qui est celui de l'inflammation spontanée du manodétendeur, accident qui peut brûler sérieusement le soudeur. L'inflammation est dûe à la grande vitesse de l'oxygène à son arrivée dans la chambre de détente et au « coup de bélier » qui en résulte, phénomène qui dégage de grandes quantités de chaleur.

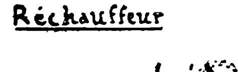
GIVRAGE DES MANODETENDEURS D'OXYGENE

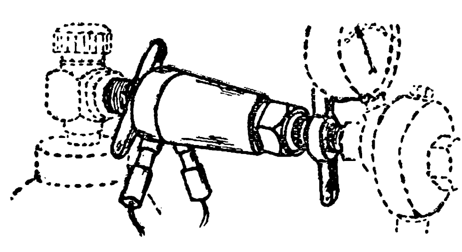
Nous avons vu que les compresseurs d'oxygène sont lubrifiés à l'eau distillée. Malgré les batteries de dessiccation mécanique que l'on place après les compresseurs, l'oxygène reste humide et cela entraîne dans certains cas des perturbations dans le fonctionnement des manodétendeurs d'oxygène.

Si vous soudez dans un pays froid, avec un chalumeau de grand débit, vous constaterez après un certain temps de fonctionnement que la flamme se dérègle et qu'il vous est impossible de la régler. Regardez alors le manodétendeur d'oxygène et vous verrez qu'il s'est recouvert d'une mince couche de glace que l'on appelle **givre.** Ce givrage extérieur qui ne peut avoir aucune influence sur la marche du manodétendeur s'accompagne d'un givrage intérieur dû à la transformation en glace de la vapeur d'eau contenue dans l'oxygène, glace qui s'accumule dans la chambre de détente, sur la pastille, son siège, comme aussi sur l'orifice de sortie et fait varier l'écoulement de l'oxygène produisant ainsi les déréglages de la flamme dont nous avons parlé. Le givrage est dû à l'abaissement de température entraînée par la détente de l'oxygène. Plus le débit du chalumeau sera grand, plus l'abaissement de température sera important et plus le givrage se produira rapidement. Dans les pays chauds, l'air extérieur réchauffe le manodétendeur qui risque donc beaucoup moins de givrer que dans les pays froids.

Pour rétablir le fonctionnement normal du manodétendeur d'oxygène, il faut donc le réchauffer. Certains soudeurs promènent la flamme du chalumeau ou d'une lampe à souder sur le robinet de la bouteille et sur le manodétendeur. Une telle pratique est à condamner, car elle peut

conduire à des détériorations du matériel et même à des accidents graves.





Si le givrage est tout à fait occasionnel on peut plonger des chiffons dans de l'eau chaude et en couvrir le manodétendeur. Il faut ensuite continuer à verser de l'eau chaude sur les chiffons mouillés pour les maintenir chauds, et ce n'est guère pratique.

Si, au contraitre le givrage est fréquent, il faut s'organiser pour le supprimer par des moyens plus commodes. Quand on dispose d'énergie électrique on peut utiliser des appareils à résistance tel que l'électro SAF. On peut, en l'absence de courant électrique, fabriquer facilement un réchauffeur à eau chaude comme le montre la figure.

LES TUYAUX DE CAOUTCHOUC

A la sortie des manodétendeurs, de même qu'à la sortie des soupapes des générateurs, sont branchés les tuyaux de caoutchouc qui amènent l'oxygène et l'acétylène au chalumeau.

Il existe 3 sortes de tuyaux de caoutchouc :

1°) **Caoutchouc nu :** Ce type n'est pas protégé contre les chocs, les frottements ni les étincelles. Son usure est donc rapide. Toutefois, certains soudeurs l'utilisent parce qu'il est plus souple, donc plus maniable que les 2 autres types.

2°) **Caoutchouc armaturé :** Le tuyau proprement dit est entouré d'une spirale d'acier qui le protège contre les frottements et les chocs, mais non contre les étincelles.

3°) **Caoutchouc armé** : Dans ce type, une gaine métallique tressée recouvre entièrement le caoutchouc. La protection contre les frottements, les chocs et les étincelles est donc parfaite : les pressions admissibles sont plus élevées. On doit donc recommander particulièrement le caoutchouc armé pour l'oxy-coupage.

LES CHALUMEAUX

L'outil principal du soudeur est le chalumeau qui opère le mélange de l'oxygène et de l'acétylène, produit la flamme soudante et permet de la diriger.

On construit divers types de chalumeaux classés d'après la pression d'arrivée d'acétylène en :

— Chalumeaux Haute Pression.

— Chalumeaux Basse Pression.

Chalumeaux Haute Pression :

La pression de l'acétylène alimentant les chalumeaux Haute Pression varie de 300 grs/cm2 à 500 grammes. La pression d'oxygène est à peu près la même que la pression d'acétylène.

Extérieurement un chalumeau haute pression comporte :

— 2 raccords pour les arrivées d'oxygène et d'acétylène ;

— 1 corps ;

— 1 lance ;

— 1 buse.

Le croquis ci-contre montre les organes intérieurs :

— 1 tube d'oxygène ;

— 1 tube d'acétylène ;

— 1 mélangeur.

Le fonctionnement de ces chalumeaux est très simple : les gaz arrivent sous des pressions égales, se mélangent dans le mélangeur. Le mélange se poursuit le long de la lance et dans la buse le mélange est parfait.

On peut faire varier leur débit en changeant la buse et en réglant la pression d'oxygène et d'acétylène, ces appareils sont donc simples et robustes. A cause de la pression élevée d'acétylène nécessaire à leur fonctionnement, on ne peut les utiliser qu'avec des bouteilles d'acétylène dissous.

Chalumeaux Basse Pression :

Les chalumeaux basse pression fonctionnent avec une pression d'acétylène de 10 à 20 grammes et une pression d'oxygène de 1 à 4 kgs. Ils peuvent donc être alimentés soit avec un générateur, soit avec l'acétylène dissous.

Si extérieurement ils comportent les mêmes organes que les chalumeaux haute pression, ils en diffèrent sensiblement par leur constitution intérieure et leur fonctionnement. Il y a toujours les 2 tubes pour l'oxy-

gène et l'acétylène ainsi que le mélangeur, mais il y a en plus l'ensemble « convergent-divergent injecteur » qui est la partie active du chalumeau.

Schéma d'un chalumeau Basse Pression

Injecteur
Ox. 1 kg
Chambre de mélange
Convergent
Divergent
C_2H_2 0 kg 020
Buse

Le fonctionnement est basé sur le même principe que celui des injecteurs Giffard pour l'alimentation en eau des chaudières.

L'oxygène arrive sous haute pression dans l'injecteur, produit une dépression dans la chambre d'acétylène. Ce gaz est aspiré et le mélange qui commence dans le divergent se parfait dans la lance. C'est à cause de cette aspiration que l'on peut avoir des entraînements importants d'acétone, ainsi que nous l'avons déjà dit : quand l'acétylène n'est pas libéré assez vite par l'acétone ou encore quand il n'y a plus d'acétylène dans la bouteille, le chalumeau continue à aspirer, mais il ne peut aspirer que de l'acétone.

Le bon fonctionnement des chalumeaux basse pression est soumis au bon état de l'injecteur.

On ne peut pas faire varier le débit des chalumeaux basse pression en changeant simplement la buse, car un injecteur déterminé ne peut laisser passer des quantités de gaz différentes qu'en faisant varier la pression. Mais pour qu'un injecteur fonctionne convenablement, la pression ne peut varier qu'entre des limites très rapprochées.

Pour changer le débit d'un tel chalumeau il faut donc, en même temps que l'on change la buse, produire une variation de même sens pour l'injecteur.

Ceci peut être réalisé en réglant le débit de l'inpecteur au moyen d'une aiguille, chalumeau type Picard à aiguille dont la figure donne la disposition.

On peut aussi changer l'injecteur chaque fois que l'on change la buse. On réalise pratiquement ce changement en enlevant l'ensemble « Buse-Lance-Divergent-Convergent-Injecteur ». A un buse donnée correspond donc un injecteur bien déterminé.

Ce système est préférable parce qu'indéréglable. Dans les chalumeaux à aiguille on finit par détériorer l'injecteur et l'aiguille à force de manœuvrer celle-ci. Les chalumeaux à lances interchangeables sont plus robustes ; ils offrent aussi des avantages pratiques qui font que le soudeur professionnel aime les utiliser : pour les petits débits les lances sont

courtes, le chalumeau bien équilibré, le guidage de la flamme facile et bien adapté aux travaux délicats dans lesquels il faut une assez grande sûreté de main. La longueur des lances augmente avec le débit; pour les gros débits les lances sont très longues, la main est donc reportée loin de la flamme et ne chauffe pas. Les organes délicats et principalement l'injecteur sont eux aussi rejetés loin de la flamme, ce qui rend le fonctionnement de ces chalumeaux régulier et plus sûr.

Montage des chalumeaux :

Les raccords des chalumeaux sont ordinairement marqués O pour l'oxygène et A pour l'acétylène ; il faut y brancher les tuyaux correspondants.

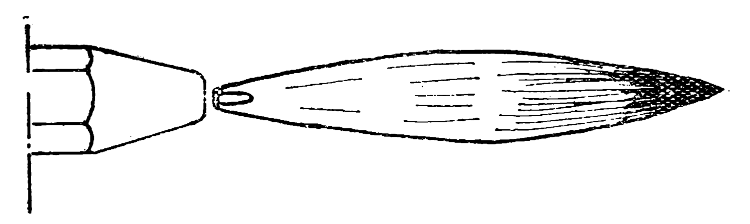
Si ces indications manquent, il est facile, avec les chalumeaux basse pression de reconnaître les deux raccords. Pour cela, ouvrez les 2 robinets du chalumeau, branchez le caoutchouc d'oxygène sur l'un quelconque des deux raccords et faites arriver l'oxygène à 2 kilogs de pression. Si le chalumeau est bien monté, vous devez sentir une aspiration à l'autre raccord (se rapporter au fonctionnement des chalumeaux BP). Dans le cas contraire, vous sentirez un refoulement.

Si vous avez un refoulement quel que soit le branchement, c'est que le chalumeau ne fonctionne pas normalement.

Incidents de marche :

L'origine de tous les incidents de marche est l'inflammation du mélange « oxygène-acétylène » dans l'intérieur du chalumeau. Lorsque la flamme est bien réglée, la vitesse d'écoulement des gaz est supérieure à la vitesse de propagation de la flamme. Il y a donc impossibilité à ce que le mélange s'enflamme à l'intérieur du chalumeau.

Si la vitesse de sortie du mélange gazeux est trop grande, la flamme décolle de l'extrémité de la buse. Pour la ramener à sa position normale il suffit de diminuer la pression d'acétylène et de faire un nouveau réglage.



Si la vitesse de sortie du mélange gazeux est trop faible, ou si, en cours de fonctionnement la vitesse de propagation de la flamme a augmenté on pourra avoir des inflammations à l'intérieur du chalumeau.

Pratiquement les incidents que l'on peut avoir sont les suivants :

1° Le chalumeau produit un **claquement sec,** puis reprend sa marche normale. C'est qu'une particule de métal ou d'oxyde fondu a obturé l'orifice de la buse ; la vitesse de sortie des gaz a donc été presque nulle, la flamme a pénétré dans le chalumeau. La combustion des gaz dans le chalumeau, dans un espace limité a amené des surpressions élevées qui ont chassé la particule et les gaz se sont écoulés à grande vitesse, en produisant un claquement caractéristique. Le chalumeau est donc revenu à son état normal de fonctionnement, et vous pouvez continuer à souder.

2° Le chalumeau donne, dès le début de la soudure, des **claquements isolés** mais fréquents, et à intervalles assez réguliers. C'est que la vitesse de sortie des gaz est très légèrement inférieure à la vitesse de propagation de la flamme. Il faut donc l'augmenter, et pour cela **augmenter** un peu la pression des gaz.

3° Le chalumeau produit **une suite ininterrompue de claquements violents,** une véritable pétarade, comme une motocyclette. C'est que le feu a pris à l'intérieur et progresse vers les caoutchoucs. Cette inflammation intérieure que l'on appelle un **retour de flammes** est dûe à ce que la vitesse de propagation de la flamme a considérablement augmenté par suite de l'échauffement du chalumeau, donc du mélange gazeux. Vous savez qu'un corps brûle d'autant plus facilement, **donc d'autant plus vite** qu'il est plus chaud. Si pour cause de mauvais fonctionnement, ou parce que l'on a travaillé dans un angle, dans un trou, dans un foyer, le chalumeau s'échauffe fortement, le mélange oxygène-acétylène est porté à haute température, sa combustion est beaucoup plus rapide, la vitesse de propagation de la flamme augmente et devient très supérieure à la vitesse d'écoulement du mélange.

Cet incident est très grave car il peut amener la fusion de pièces du chalumeau et la mise hors d'usage de l'appareil. Quand il se produit, il faut fermer immédiatement le robinet d'acétylène placé sur le raccord d'entrée au chalumeau, puis plonger le chalumeau dans un seau d'eau froide pour le refroidir en laissant l'oxygène ouvert de façon à empêcher l'entrée de l'eau. Il et très important de fermer l'acétylène avant de plonger le chalumeau dans l'eau. Pratiquer autrement pourrait entraîner des accidents.

Entretien des chalumeaux :

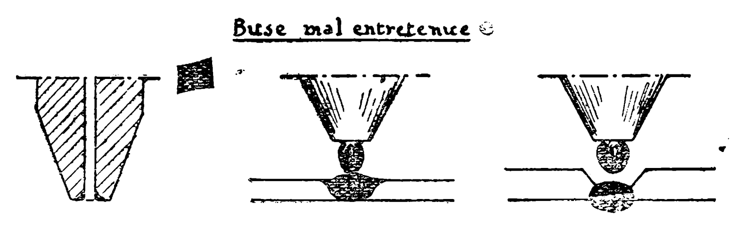
Les chalumeaux sont des instruments de précision qui sont délicats et ne peuvent bien fonctionner qu'à condition d'être toujours en parfait état.

Le soudeur doit donc éviter de les jeter, de les laisser tomber, ou de s'en servir comme marteaux (chose vue dans certains ateliers).

Leur entretien se résume à peu de choses : il faut et il suffit d'avoir

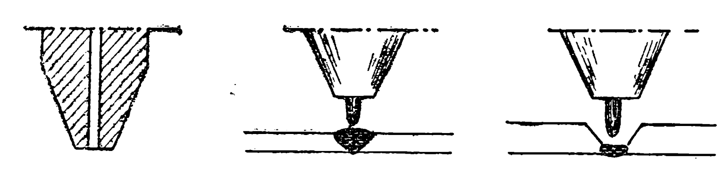
toujours des buses en bon état. Le soudeur n'attache pas assez d'importance aux buses qui jouent cependant un rôle très important dans l'exécution des soudures. Voyez sur les figures la flamme donnée par une buse bien entretenue. Le bain de fusion d'une soudure sur tôle mince est étroit ; on a peu de risques d'effondrement, et la soudure est rapide donc économique et de bel aspect. Sur tôle épaisse, chanfreinée, le dard étant très effilé on peut atteindre facilement la base du chanfrein sans risquer d'effondrements ; on fera donc encore une bonne soudure économiquement.

Buse mal entretenue



Une buse mal entretenue peut donner des flammes ayant la forme ci-dessous ; les bains de fusion seront larges. Pour fondre les tôles sur toute leur épaisseur il faudra fondre une très grosse quantité de métal; on avancera lentement et l'on risquera des effondrements.

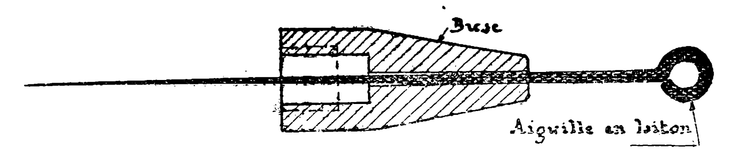
Buse bien entretenue



Pendant la soudure, des particules (oxyde ou métal) fondues sont projetées sur la buse et jusque dans le canal. La flamme est alors déformée et il est difficile de souder.

Pour enlever les particules extérieures il suffit de frotter la buse contre une plaquette de bois.

Pour remettre le canal de la buse en état on introduit une aiguille **très effilée** en laiton ou en cuivre rouge. Ne jamais utiliser d'aiguilles en acier qui alèseraient l'orifice.



MISE EN ROUTE D'UN POSTE A ACETYELNE DISSOUS

Le poste étant monté, ouvrez les robinets d'arrivée des gaz au chalumeau, ainsi que les robinets de départ des manodétendeurs oxygène et acétylène.

Vérifiez toujours que les vis de détente des manodétendeurs sont bien desserrées. Ouvrez alors lentement les robinets des bouteilles de 3 ou 4 tours, soit au moyen du volant, soit au moyen d'une clé (robinets oxygène nouveau modèle et robinets acétylène).

Recherchez s'il n'y a pas de fuites, et s'il y en a, étanchez-les ; les fuites peuvent se produire :

1° Au robinet des bouteilles d'oxygène. Dans ce cas on trouve presque toujours une position du volant pour laquelle il n'y a pas de fuite. Au besoin resserrez un peu l'écrou presse-étoupe situé sous le volant, ou encore, bloquez le robinet à sa position « ouverte ». Si quelque fuite persistait, signalez la bouteille à la Société qui vous l'a fournie.

2° Au robinet des bouteilles d'acétylène. Il suffit pour les supprimer de resserrer légèrement l'écrou presse-étoupe.

3° Au joint « robinet de la bouteille d'oxygène-manodétendeur ». Il faut serrer plus énergiquement le manodétendeur sur le robinet. Si la fuite persiste, démontez le manodétendeur et vérifiez le bon état des portées ; si les portées sont défectueuses rafraîchissez-les avec de la toile émeri fine — à défaut, utilisez les joints « Presto ».

4° Au joint « Robinet de la bouteille d'acétylène-manodétendeur ». Il faut serrer plus énergiquement le manodétendeur sur le robinet. Si la fuite persiste, démontez le manodétendeur et vérifier que la rondelle de cuir gras logée dans le robinet, et qui doit faire joint est en bon état; si elle est en mauvais état, enlevez-là et remplissez-là.

Ces opérations terminées, serrez la vis de détente du manodétendeur d'oxygène jusqu'à ce que la pression indiquée par le manomètre basse pression soit celle nécessaire au fonctionnement du chalumeau (cette pression varie suivant les types du chalumeau, et pour un même chalumeau, suivant le débit de la buse. Il faut donc se rapporter à la notice de fonctionnement donnée pour chaque chalumeau).

Fermez le robinet d'arrivée d'oxygène au chalumeau ou vissez l'aiguille de réglage.

Serrez la vis de détente du manodétendeur d'acétylène jusqu'à ce qu'un courant d'acétylène sorte par la buse.

Vérifiez alors qu'il n'y a pas de fuites. Il peut s'en produire :

1° Au robinet de départ des manodétendeurs ancien modèle. Ces robinets sont étanchés au moyen de presse-étoupes. S'il y a fuite, resserrez légèrement l'écrou de presse-étoupe.

2° Au raccord de sortie des manodétendeurs, vérifiez que ces raccords sont bien serrés et qu'ils ont bien la rondelle de fibre qui fait joint.

3° A l'emmanchement des tuyaux de caoutchouc sur les olives de sortie des manodétendeurs et sur les olives des raccords d'entrée au chalumeau. Ligaturez les tuyaux en utilisant de préférence des colliers de serrage. C'est une bonne précaution que de ligaturer les tuyaux de caoutchouc.

4° Au presse-étoupe de l'aiguille de réglage d'oxygène sur le chalumeau, et au presse-étoupe du robinet d'acétylène. Resserrez les presse-étoupes.

Si le circuit des gaz ne présente plus de fuites, allumez l'acétylène, serrez la vis de détente du manodétendeur d'acétylène jusqu'à ce que la flamme décolle de la buse, puis desserrez-la légèrement pour que la flamme recolle.

Ouvrez alors le robinet d'oxygène ou dévissez l'aiguille de réglage et réglez la flamme.

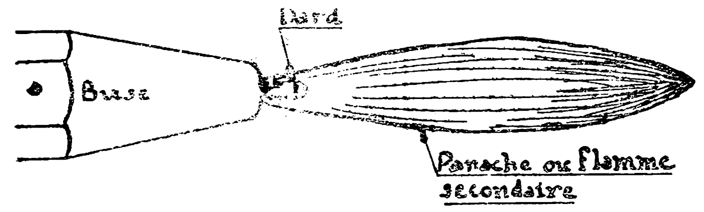
LA FLAMME OXY-ACETYLENIQUE

Lorsque vous avez enflammé l'acétylène sortant de la buse du chalumeau, vous avez obtenu une flamme de couleur orangée qui dégageait de grosses quantités de noir de fumée. Le robinet d'oxygène étant fermé l'acétylène brûlait avec le seul concours de l'air atmosphérique, et sa combustion était lente et incomplète.

Dès que vous commencez à ouvrir le robinet d'oxygène la combustion devient plus rapide, la coloration de la flamme s'éclaircit, le noir de fumee disparaît.

Continuez à ouvrir le robinet d'oxygène : le phénomène se développe : la partie de la flamme en contact avec la buse devient blanche, très éblouissante ; elle est suivie d'une partie rougeâtre.

A un certain moment, vous observez **3 zones** très distinctes dans la flamme :



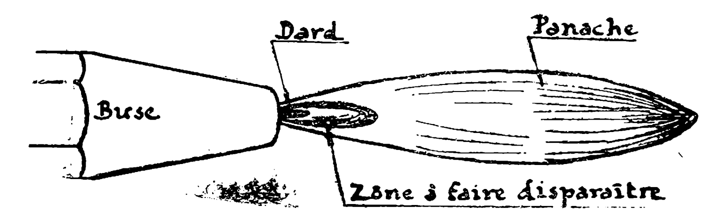
1° Une zone blanche nettement délimitée ;

2° Une zone blanchâtre de contour irrégulier et flou ;

3° Une zone rouge-violet.

Arrivée à ce stade la flamme est presque réglée pour la soudure.

Pour que la flamme soit bien réglée il suffit d'admettre encore un peu d'oxygène, jusqu'à ce que la deuxième zone disparaisse en se confondant avec la première qui portera alors le nom de **dard.**



Dans une flamme oxy-acétylénique bien réglée on distingue donc 2 parties :

1° Une zone blanche de contour très net : **le dard ;**

2° Une zone rouge violet : **le panache.**

Si vous continuez à ouvrir le robinet d'oxygène le dard restera bien formé mais il prendra une coloration bleuâtre. Il est très difficile, même à l'œil le mieux exercé de distinguer un dard bien réglé d'un dard formé avec un léger excès d'oxygène, tandis qu'un léger manque d'oxygène se décèle immédiatement par l'apparition de la zone blanchâtre à contour irrégulier et flou.

Quand on veut régler la flamme il faut donc toujours partir d'une flamme qui manque d'oxygène (flamme carburante) caractérisée par cette zone blanchâtre, et augmenter lentement l'oxygène.

Quand on veut, en cours de soudure, vérifier le réglage de la flamme il faut aussi partir d'une flamme carburante. Pour cela, on ferme le robinet d'oxygène sur le chalumeau jusqu'à apparition de la zone blanchâtre, puis on règle à nouveau.

Propriétés de la flamme.

La flamme oxy-acétylénique bien réglée atteint à l'extrémité du dard une température supérieure à 3000°.

Cette flamme est **réductrice,** c'est-à-dire qu'elle décompose les corps qui contiennent de l'oxygène, et absorbe l'oxygène libéré. Cette propriété est très intéressante pour la soudure : les oxydes fondus sont décomposés, l'oxygène sert à la formation de la flamme, et le métal reste libre, ce qui permet d'obtenir des soudures parfaitement saines.

Ces deux propriétés importantes s'expliquent scientifiquement :

1° La seule combustion de l'acétylène ne pourrait donner à la flamme une température aussi élevée; mais dans le dard il y a décomposition de l'acétylène, donc, nous l'avons déjà vu, grand dégagement de chaleur.

2° Si l'on étudie chimiquement la combustion de l'acétylène on re-

marque qu'il faut 2 m3, 5 d'oxygène pour faire brûler 1 m3 d'acétylène. En pratique on constate que ces proportions ne sont pas respectées, et que **pour la combustion de 1 m3 d'acétylène il suffit de prendre 1 m3 2 dans la bouteille d'oxygène.** Cela n'est qu'une anomalie apparente : l'oxygène manquant, soit 2 m3 5 — 1 m3 2 = 1 m3 3 est pris dans l'air ambiant ou dans les corps qui en contiennent, et plus particulièrement dans les oxydes. Cela explique le rôle réducteur de la flamme oxy-acétylénique bien réglée. Tant que le panache de la flamme couvrira le métal en fusion, celui-ci ne s'oxydera pas, et on aura donc intérêt à relever le chalumeau le moins souvent possible.

La flamme oxy-acétylénique bien réglée est réductrice et **neutre.** Si l'acétylène est en excès, ce qui se caractérise par l'apparition de la zone blanchâtre, elle est **carburante;** le carbone de l'acétylène en excès peut se fixer sur le métal en fusion et modifier profondément ses propriétés. C'est ainsi qu'on peut transformer un acier doux en acier mi-dur, dur, et même en fonte.

Si au contraire on a un excès d'oxygène il y a oxydation violente du métal en fusion, ce qui produit, pour certains métaux des dénaturations profondes ; pour les aciers courants on a des risques de brûlure du métal.

Il faut donc veiller très soigneusement au bon réglage de la flamme; en cours de soudure il faut faire de nombreuses vérifications car on a de fréquents déréglages dûs à des incidents mécaniques ou simplement à l'échauffement du chalumeau.

Nous verrons, lorsque nous étudierons les métaux spéciaux, que certains d'entre eux nécessitent, pour ne pas être dénaturés en cours de soudure, des flammes réglées carburantes ou oxydantes de diverses façons. Mais ces métaux sont très rares et il faut, pour tous les travaux courants, utiliser une flamme parfaitement neutre.

ARRET D'UN POSTE A ACETYLENE DISSOUS

Si l'arrêt doit être de faible durée :

— fermez les robinets d'acétylène et d'oxygène placés sur le chalumeau.

Si l'arrêt doit être de longue durée :

— fermez la bouteille d'acétylène, puis celle d'oxygène. Attendez que tous les manomètres soient à 0, et desserrez alors les vis de détente des manodétendeurs.

MISE EN ROUTE ET ARRET DES POSTES AVEC GENERATEUR

La façon de procéder est la même que pour les postes à acétylène dissous en ce qui concerne l'oxygène. Pour l'acétylène il y a lieu de se conformer aux indications données par le constructeur pour la mise en route et le fonctionnement du générateur.

CONCLUSIONS

Le matériel de soudure est un matériel délicat qui ne peut donner de bons résultats qu'à condition d'être soigneusement entretenu. Si vous constatez une défectuosité dans le fonctionnement des manodétendeurs et des chalumeaux, n'essayez pas de les réparer vous-mêmes à moins que vous en connaissiez parfaitement la constitution, car vous risqueriez de les endommager gravement. Faites-les réparer, au contraire, par le fabricant lui-même, qui possède tout l'outillage nécessaire à leur remise en état.

Avec du matériel fonctionnant irréprochablement vous obtiendrez des flammes stables qu'il vous sera facile de régler. Veillez au réglage de ces flammes, un bon réglage étant une condition indispensable pour l'exécution de bonnes soudures.

Enfin, prenez toutes les précautions possibles pour éviter des accidents, et pour protéger vos yeux, portez des lunettes de couleur verte ou bleue suivant les métaux à souder.

■

CHAPITRE IV

LES METHODES DE SOUDURE

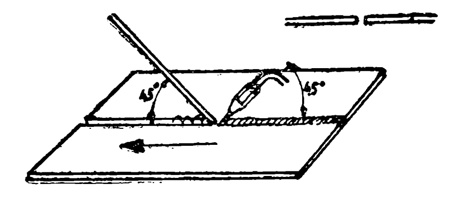
On ne soude pas de la même façon les tôles minces et les tôles épaisses, les tôles horizontales et les tôles verticales, les tôles situées dans un même plan et celles formant un angle entre elles ; les différentes méthodes de soudure ont été étudiées et codifiées. Les indications numériques consignées ci-dessous et qui donnent les débits de chalumeaux, les diamètres du métal d'apport, les inclinaisons de la baguette et du chalumeau, la vitesse d'exécution, sont les résultats de très nombreux essais effectués pendant des années dans de grands ateliers de soudure. Leur valeur est donc indiscutable.

Nous savons qu'il est possible de souder en s'écartant de ces données, mais au détriment de la sécurité, de la beauté et aussi de l'économie. Appliquer exactement les méthodes, sans rien transformer ni omettre est une certitude de bonne réalisation, garantissant la meilleure résistance et le prix de revient le plus bas.

Ce qui suit s'applique uniquement aux fers et aciers courants. Nous verrons plus tard, dans l'étude des différents métaux, les conditions particulières d'exécution des soudures pour chacun d'eux.

A) **Soudure en avant.** — Cette méthode s'applique aux tôles horizontales, dans un même plan. On l'appelle aussi : « Soudure à gauche » parce qu'elle s'exécute de droite à gauche. Le débit du chalumeau est choisi en fonction de l'épaisseur des tôles, d'après la formule simple : Débit en litres : 100 x e mm. (e représente l'épaisseur de la tôle). La valeur trouvée donne le débit en litres d'acétylène à l'heure, valeur gravée sur les buses des chalumeaux.

Tenue du chalumeau et de la baguette dans la méthode "à gauche"



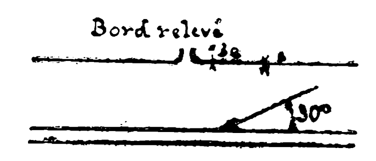
Le diamètre de la baguette d'apport se calcule suivant la formule :

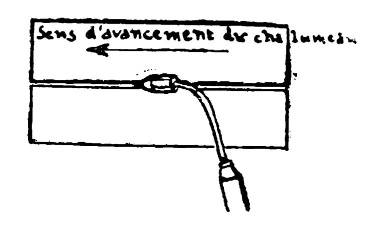
$$\text{Diamètre} = \frac{e}{2} + 1 \text{ mm.}$$

L'axe de la buse du chalumeau est constamment incliné sur la tôle dans le sens de l'avancement et d'un angle d'autant plus grand que la pièce est plus épaisse.

La préparation des tôles et le mode opératoire varient suivant l'épaisseur.

— **Tôles jusqu'à 1 millimètre :**



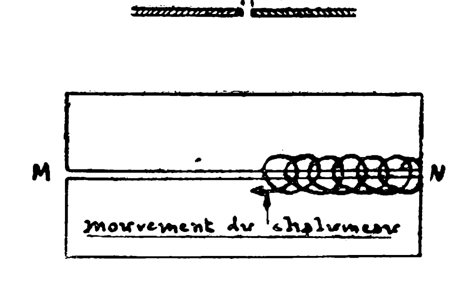


En construction la soudure se fait souvent sur bords relevés, et sans métal d'apport.

Le chalumeau incliné de 30° environ ne fait aucun mouvement transversal.

Cette façon de procéder augmente la vitesse et réduit les déformations des tôles pendant la soudure, déformations toujours importantes sur les tôles minces.

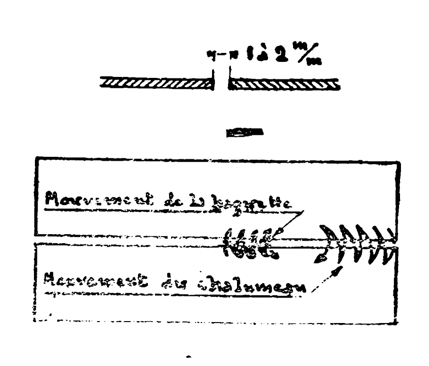
— **Tôles de 1 à 3 millimètres :**



Les tôles sont placées bord à bord sans écartement, ou avec un écartement très faible (0,5 à 1 mm.). Le chalumeau est incliné à 45°. L'extrémité du dard doit être à 1 ou 2 mm. de la surface du métal en fusion. Elle décrit des mouvesens tranversal.

Lorsque le dard se ments elliptiques allongés, très faibles dans le trouve pendant son mouvement à droite de la ligne M N, la baguette d'apport plonge dans le métal liquide qu'on appelle **Bain de fusion;** elle en ressort quand le dard se trouve à gauche de M N.

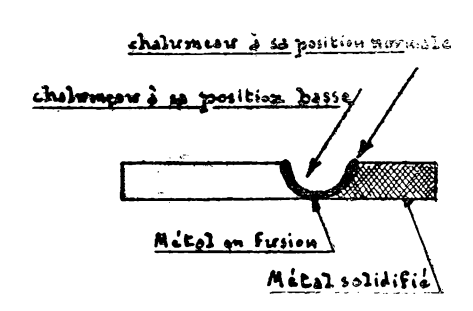
— **Tôle de 3 à 5 millimètres :**



Les tôles sont placées bord à bord avec un écartement de 1 à 2 mm.; cet écartement facilite la pénétration, mais il faut éviter de lui donner une valeur plus grande car on risquerait alors d'avoir à l'envers de la soudure un défaut appelé **collage.**

Le chalumeau décrit des mouvements en forme de demi-cercle autour de la baguette d'apport qui fait en sens inverse des mouvements de plus faible amplitude.

Il est difficile d'obtenir une bonne soudure en procédant de façon continue, on exécute alors la soudure comme suit :



On forme un bain de fusion dans lequel on enfonce lentement le dard, le métal fondu est chassé, comme le montre la figure, sans entrer en contact avec le dard.

On arrive ainsi à percer le bain de fusion ; dès que le bain est percé on relève rapidement le dard à sa position normale et l'on introduit vivement la baguette dans le bain, on recharge jusqu'à l'épaisseur convenable et on recommence de la même façon pour le bain suivant.

— Tôles au-dessus de 5 millimètres :

Les pièces dont l'épaisseur est supérieure à 5 m/m doivent être chanfreinées avant soudure. Il ne faut pas croire que le chanfreinage est une opération inutile ; beaucoup de soudeurs soudent sans chanfrein des tôles de 5, 8 et même 10 m/m, croyant réaliser ainsi des soudures plus économiques. Ils ont tort, car leur vitesse est fortement réduite et le temps perdu en cours de soudure, temps qui coûte cher parce que le chalumeau débite, augmente sensiblement le prix de revient.

D'autre part, les soudures faites sans chanfrein donnent lieu à des défauts nombreux et graves qui enlèvent aux joints soudés toute leur résistance.

Pour les épaisseurs courantes l'angle total du chanfrein est de 90°.

L'exécution de la soudure est analogue, au chanfrein près, à l'exécution des soudures sur tôles de 3 à 5 m/m.

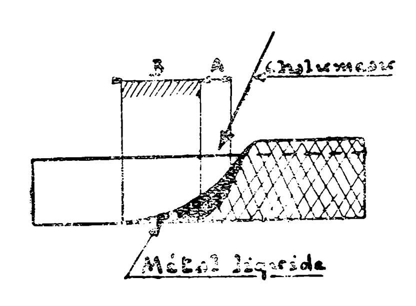
La soudure en avant est la plus connue et la plus utilisée, il y aurait cependant intérêt à la remplacer, pour les tôles d'épaisseur supérieure à 3 m/m, par les méthodes que nous étudierons plus loin et qui permettent de souder plus vite et mieux.

La vitesse d'exécution des soudures en avant, en fonction de l'épaisseur des tôles, est donnée par la formule :

$$\text{— Vitesse en mètre/heure} = \frac{12 \text{ m.}}{e \text{ mm}}$$

La largeur de la soudure doit être comprise entre : 2,5 et 3,5 e.

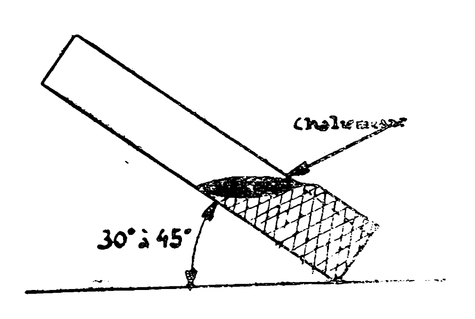
B) **Soudure demi-montante :**



Considérons une soudure en avant sur tôles chanfreinées en cours d'exécution. Le métal liquide tend à s'écouler vers la gauche parce que sollicité par son poids et poussé en outre par le souffle du chalumeau.

Dans la partie A, les bords du chanfrein soumis à l'action directe du dard sont en fusion, de même que le métal rapporté, il y a donc liaison intime, homogénéisation parfaite. Mais, dans la partie B (hachurée) les bords du chanfrein n'étaient pas en fusion au moment où le métal liquide du bain était chassé en avant, il ne peut y avoir liaison, donc soudure. Le défaut résultant est le collage.

Pour éviter ce défaut on a songé à incliner les tôles d'un certain angle, en montant, dans le sens de l'avancement. Cette méthode est la méthode de demi-montante. Les tôles sont placées l'une par rapport à l'autre comme dans la soudure en avant et les préparations restent les mêmes.



L'angle des tôles avec l'horizontale varie de 30 à 45°.

Les débits du chalumeau et les diamètres de la baguette d'apport sont choisis comme dans la soudure « en avant ».

Le métal liquide poussé par le souffle du chalumeau ne peut pas couler vers l'avant, parce que son poids le ramène toujours vers les parties les plus basses, c'est-à-dire vers l'arrière, les risques de collage sont donc très diminués, la soudure s'exécute beaucoup plus facilement et de manière continue.

On pourra utiliser avantageusement la soudure demi-montante pour le raboutage des viroles ou la pose de fonds sur des réservoirs cylindriques.

C) **Soudure en arrière :**

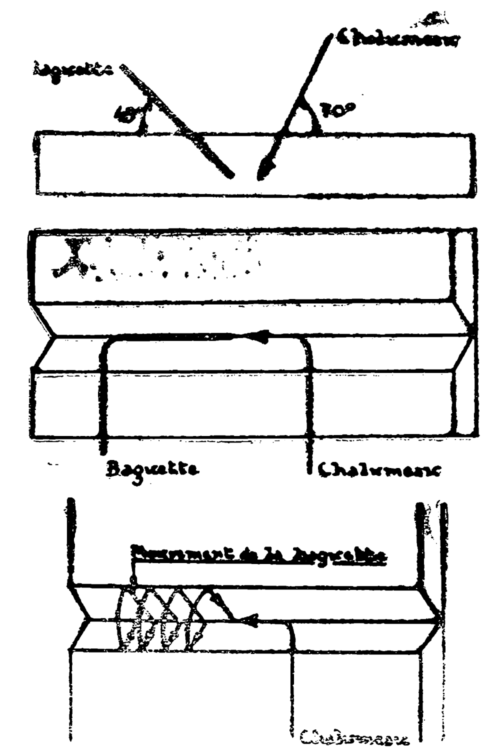
La soudure en arrière, ainsi appelée parce qu'elle s'exécute de gauche à droite, est aussi dénommée « Soudure à droite ». Elle ne s'applique qu'aux tôles chanfreinées, c'est-à-dire d'épaisseur supérieure à 5 m/m.
Angle du chanfrein : 80 à 90°.
Débit du chalumeau : 100 litres par millimètre.

Diamètre de la baguette d'apport : $\frac{15}{e}$

Le chalumeau est incliné en arrière de 70°, l'extrémité du dard reste toujours à fond de chanfrein.

Les risques de collage à la base sont supprimés, le métal liquide qui voudrait couler en avant étant en effet repoussé par le souffle du chalumeau vers les couches en fusion.

Le cordon de soudure est plus étroit, la vitesse est plus élevée : $V = \frac{15}{e}$ ce qui abaisse le prix de revient et diminue les risques de dénaturation du métal par surchauffage.



Le chalumeau n'est animé d'aucun mouvement transversal mais il se déplace à vitesse constante en restant constamment parallèle lui-même.

La baguette d'apport décrit des mouvements d'un bord à l'autre du chanfrein et de bas en haut, de façon à répartir le métal en fusion elle reste constamment plongée dans le bain.

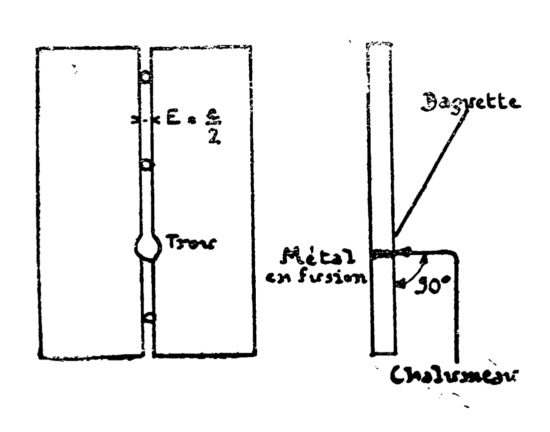
La soudure en arrière doit être préférée aux soudures en avant et demi-montante elle assure en effet une pénétration automatique, continue et régulière.

D) **Soudure montante à double cordon « A » :**

Jusqu'à ces dernières années les soudeurs qui avaient à exécuter des soudures verticales procédaient sans règles définies, aussi ces soudures étaient-elles jugées très difficiles. Toutes les fois où cela était possible on préférait déplacer les pièces à souder, même au prix de manutentions difficiles, de façon à effectuer les soudures dans la position horizontale.

Aujourd'hui on soude en montant sur tôles verticales aussi facilement et même plus facilement qu'à plat, grâce à la méthode de soudure montante à double cordon.

Jusqu'à 6 millimètres d'épaisseur les tôles sont à bords droits.

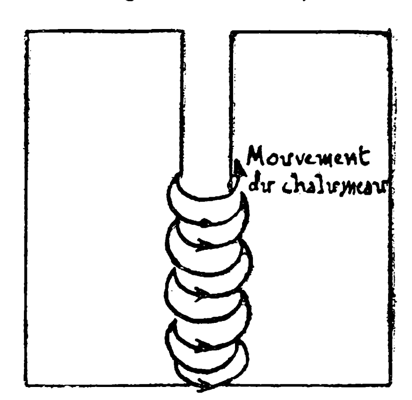


Au-dessus de 6 mm. on chanfreine à 70°. Les tôles sont placées bord à bord, avec un écartement qui doit rester égal à la moitié de l'épaisseur pendant la soudure. Le débit du chalumeau est pris égal à 60 litres par millimètre d'épaisseur.

Le diamètre de la baguette d'apport est donné par la formule :

$$d = \frac{e}{2}$$

L'axe de la buse doit être tenu perpendiculairement au plan des tôles et la baguette doit être placée à 20° comme l'indique la figure.

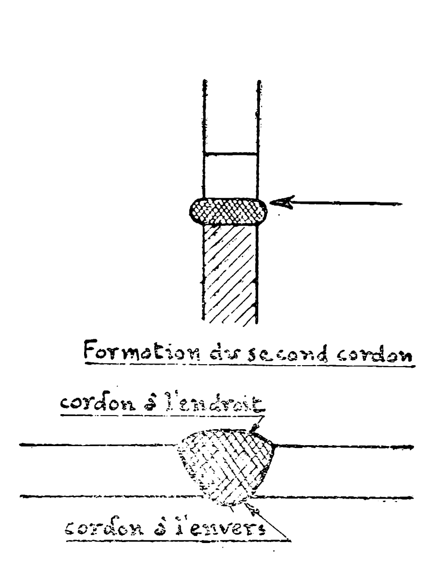


Le principe de la méthode consiste à faire un trou qu'il ne faut pas boucher, mais que l'on déplace en montant, en faisant exécuter au chalumeau et à la baguette d'apport des mouvements a peu près demi-circulaires, en sens inverse l'un de l'autre.

Chaque fois que la baguette croise le dard du chalumeau, son extrémité entre en fusion, le métal ainsi rapporté

se trouve en partie projeté à travers le trou par le souffle de la flamme, formant à l'envers un petit bourrelet, un second « cordon », d'où le nom de « double cordon » donné à cette soudure.

Le cordon à l'envers doit être moins important que le cordon à l'endroit. La figure donne en vraie grandeur la coupe transversale d'une telle soudure effectuée sur tôle de 6 millimètres.



La soudure « Montante » « double cordon » présente les avantages suivants :

Grâce au trou, le soudeur a la certitude d'obtenir une pénétration parfaite continue et régulière, sans gouttes volumineuses, cela confère au joint une sécurité absolue de telle sorte que toutes les pièces ayant à subir des efforts importants tels que les réservoirs sous pression, les châssis..., sont de préférence soudés ou réparés par cette méthode.

La régularité des mouvements permet à un opérateur normal d'exécuter la soudure presque automatiquement et d'obtenir des cordons d'une présentation inégalable.

Le panache de la flamme passant constamment à travers le trou, les tôles s'échauffent moins et l'on enregistre des déformations faibles.

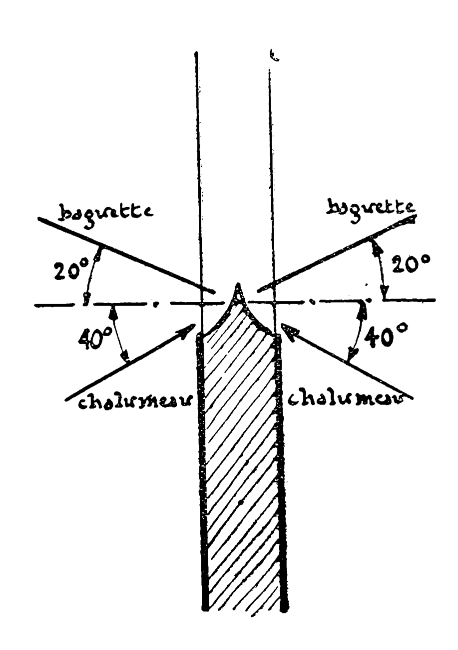
Si la vitesse est un peu plus faible que celle obtenue avec la soudure en « avant » $V = \frac{10}{e}$ cette perte est largement récupérée, puisque le chalumeau est de débit nettement plus faible.

E) **Soudure montante à double cordon B et C :**

La soudure montante à double cordon A est facile à exécuter sur tôle d'épaisseur inférieure à 8 millimètres, mais devient plus difficile et plus onéreuse au-dessus de cette épaisseur.

Une nouvelle méthode permet de souder facilement en montant les tôles

d'épaisseur de 8 — 10 — 20 et même 30 millimètres, mais il faut pour cela que les 2 faces de la tôle soient accessibles. Deux soudeurs, placés respectivement de part et d'autre de la tôle, soudent en montant à la même vitesse, de façon à ce qu'ils soient toujours à la même hauteur le long du joint à réaliser.



doivent avoir des dé-

Jusqu'à 12 mm. d'épaisseur on laisse les bords droits (type B).

Au-dessus de 12 mm on chanfreine des 2 côtés, l'angle d'ouverture des chanfreins étant de 70°.

Que les bords soient droits ou chanfreinés on laisse entre les tôles un écartement qui doit rester égal à la moitié de leur épaisseur.

Les 2 chalumeaux bits rig o u reus em e nt égaux, déterminés sur la base de 35 litres, par millimètre d'épaisseur.

Le diamètre des baguettes d'apport est donné par la formule :

$$d = \frac{e}{3}$$

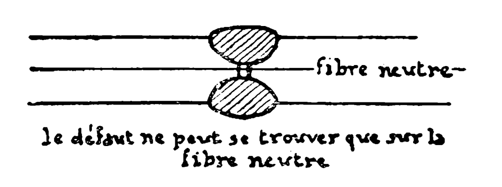
Les chalumeaux doivent être symétriques par rapport à la tôle, inclinés de 40° sur celle-ci. Les baguettes d'apport font un angle de 20° (voir figure).

Les chalumeaux et les baguettes d'apport font les mêmes mouvements que dans la soudure montante A.

On pourrait croire que la **synchronisation** des 2 soudeurs est chose difficile à obtenir et qui demande un long entraînement de l'équipe. Il n'en est rien car les 2 soudeurs sont dans l'obligation de tenir constamment

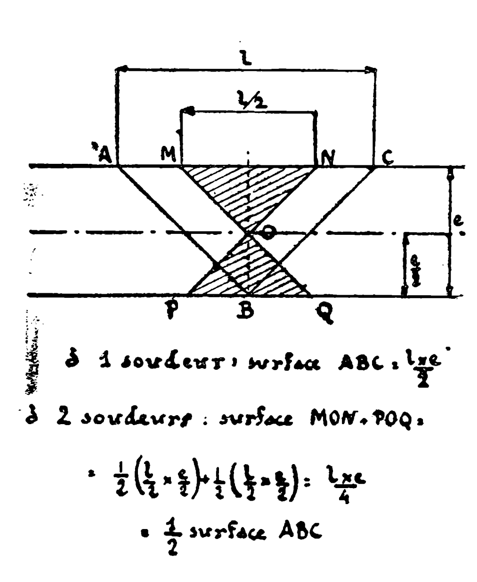
leur chalumeau à la même hauteur, chacun d'eux étant trop faible pour porter le métal en fusion. En réalité il suffit que l'un des 2 opérateurs seulement soit un bon soudeur, le second étant plutôt un aide expérimenté.

Ces méthodes de soudure connaissent un développement extrêmement rapide en raison de leurs nombreux avantages.



La soudure étant faite des 2 côtés il n'y a pas possibilité d'amorce de cassure par manque de pénétration. Les seuls défauts possibles se trouvent dans le milieu de l'épaisseur, sur la fibre neutre et ne pourront pas entraîner la rupture en cas de flexion de la soudure.

La sécurité est donc absolue.



Les tôles étant également chauffées sur les 2 faces et la quantité de métal rapporté sur chaque face étant identique, les effets du retrait seront les mêmes, ils s'annuleront et les déformations s e r o n t pratiquement nulles. Enfin, ces méthodes sont beaucoup plus économiques que toutes les autres déjà vues.

La vitesse est donnée par la formule :

$$V = \frac{24}{e}$$

Cela est dû à ce que, pour une même épaisseur la quantité de métal fondu dans la méthode à 2 soudeurs est moitié de celle fondue avec un seul soudeur.

Il suffit pour le vérifier de regarder la figure ci-avant.

Une autre cause de cette augmentation de vitesse est que la chaleur qui passe de la face chauffée vers la face opposée à travers le métal est de la chaleur perdue dans le cas de soudure à 1 seul soudeur, alors qu'elle concourt au chauffage de la 2ème face, facilitant le travail du second soudeur dans le cas de soudure à 2 soudeurs.

F) **Soudure à double chanfrein :**

La soudure des tôles épaisses étant à exécuter d'une seule venue, bien des soudeurs chanfreinent leurs tôles comme pour la soudure montante à double cordon (c'est-à-dire un chanfrein sur chaque face) soudent l'une des faces puis l'autre face.

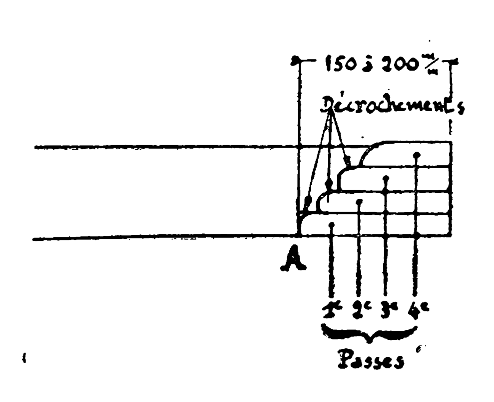
Cette façon de procéder est défectueuse et elle entraîne dans de nombreux cas des ruptures dans la soudure lors de l'exécution du deuxième cordon de soudure.

Nous avons vu qu'on peut souder les tôles en montant à double chanfrein à condition de procéder à la soudure avec 2 opérateurs qui avancent à la même vitesse. Cette méthode est applicable pour les tôles placées dans n'importe quelle position.

Il est cependant des cas où l'on peut sans inconvénient procéder à des soudures en double chanfrein avec un seul soudeur. On soude ainsi les fers ronds, carrés, plats et d'une façon générale toutes les pièces dans lesquelles la longueur de la ligne à souder n'est pas trop grande par rapport à l'épaisseur de la pièce.

G) **Soudure en plusieurs passes :**

La soudure des tôles épaisses peut s'effectuer en plusieurs passes superposées.



De cette façon les bains de fusion sont moins volumineux et leur contrôle est plus facile.

On procède comme suit :

Une première passe est faite à fond de chanfrein sur une longueur de 150 à 200 m/m. On revient ensuite au point de départ et l'on fait une seconde passe en prenant soin de laisser un décrochement (voir figure) pour faciliter l'amorçage de la deuxième série de passes.

On fait ainsi le nombre de passes superposées nécessaires au remplissage du chanfrein.

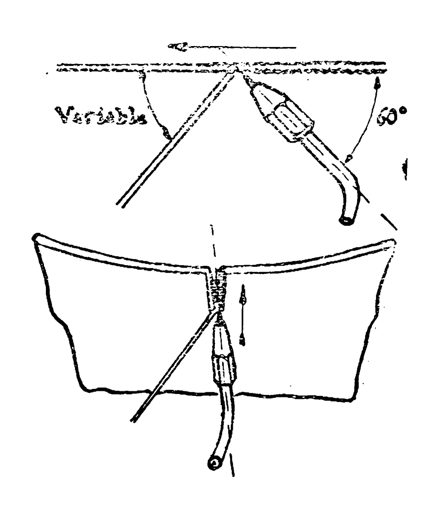
On repart du point A pour faire une passe de fond sur une nouvelle longueur de 150 à 200 millimètres et ainsi de suite.

H) **Soudure au plafond :**

On applle « soudure au plafond » ou « soudure surélevée » celle qui est exécutée la tôle étant placée au-dessus de la tête de l'opérateur.

Cette soudure ne présente pas, ainsi qu'on pourrait le croire, de grosses difficultés dûes à la chute du métal en fusion sous l'action de la pesanteur.

Il suffit, pour éviter ces chutes, de procéder par passes superposées dès que l'on atteint des épaisseurs un peu fortes. La soudure des tôles jusqu'à 5 et 6 millimètres s'effectue assez facilement.

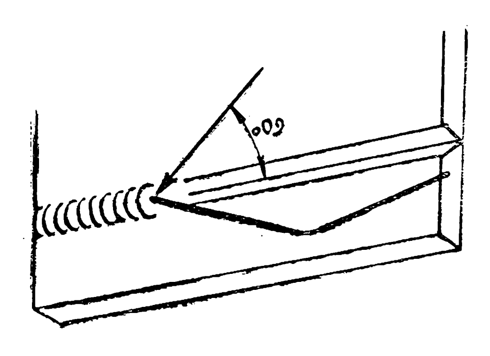


La difficultés réside dans la position incommode du soudeur qui se fatigue très vite à moins d'un long entraînement et dans la mauvaise vision de la ligne de soudure. Pour obvier à ce dernier inconvénient il est recommandé au soudeur de se placer dans l'axe de la soudure et de souder **vers lui,** les positions respectives du chalumeau et de la baguette rappelant celles de la soudure « en avant ».

Cette soudure s'effectue naturellement à vitesse réduite et on ne l'utilise que lorsqu'il n'y a pas possibilité de procéder différemment.

I) Soudure en corniche :

On appelle soudure « en corniche » celle qui s'exécute suivant une ligne **horizontale dans le plan vertical.** C'est la plus difficile malgré son apparente facilité. Il y a en effet de gros risques de collage sur la tôle inférieure, dès que l'on dépasse l'épaisseur de 6 m/m.



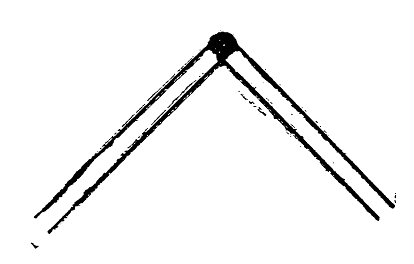
Il faut souder « en arrière ».

La soudure à 2 soudeurs, du type de la soudure « montante B» donne de bons résultats.

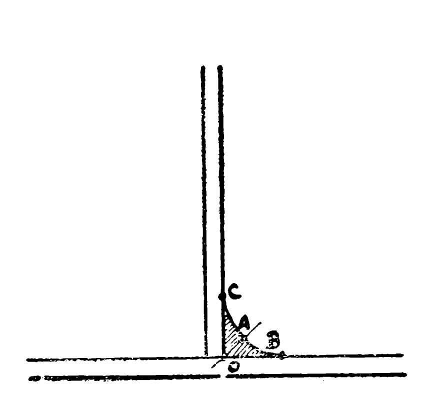
J) Soudures d'angle :

Tout ce qui a été dit sur les méthodes de soudure s'applique aux tôles juxtaposées bord à bord sur un même plan. Il arrive fréquemment que les surfaces à souder forment un angle, la soudure devant être exécutée à l'intérieur ou à l'extérieur de cet angle.

Soudures d'angle extérieur. — Ce type de soudure ne se rencontre guère que dans le cas d'assemblage n'ayant à supporter que de faibles efforts. On peut souder en angle extérieur dans toutes les positions, en utilisant un chalumeau de débit un peu plus faible que pour la soudure dans un même plan de tôles de même épaisseur.



Soudures d'angle intérieur. — Dans les soudures d'angle intérieur il ne faut pas s'attacher à obtenir la fusion des tôles à assembler sur toute leur épaisseur. Il faut et il suffit de fondre superficiellement les tôles **jusqu'au sommet** de l'angle qu'elles forment et de telle façon que la ligne OA (voir figure) soit au moins égale à l'épaisseur de la tôle la plus mince.



Si les 2 tôles sont d'épaisseur égale, les zones d'accrochage OB et OC doivent avoir la même grandeur.

Lorsque l'on ne demande aux assemblages réalisés par soudure d'angle intérieur que de l'étanchéité, elles peuvent n'être faites que d'un côté. Au contraire, lorsqu'elles doivent être résistantes il faut souder des deux côtés.

Ce type de soudure demande un débit de chalumeau un peu plus élevé que la soudure à plat, il nécessite aussi une grande attention de la part du soudeur.

REMARQUE IMPORTANTE. — Dans tous les cas et quelle que soit la méthode de soudure utilisée, le dard ne doit jamais entrer en contact avec le métal. fondu du bain de fusion, ni avec l'extrémité de la baguette d'apport. Cette dernière doit fondre, non pas sous l'action directe de la flamme, mais par le contact du métal en fusion du bain. (La goutte ne doit pas tomber).

Nous avons vu que dans certaines méthodes la baguette de métal d'apport était soumise à des oscillations qui la faisaient tour à tour plonger dans le bain et en ressortir.

Il faut s'attacher à conserver toujours l'extrémité chaude dans le panache de la flamme, ce qui évite l'oxydation (en raison des propriétés réductives en panache) et éviter aussi le refroidissement de la baguette, ce qui permet de réaliser des soudures plus rapides.

CHAPITRE V

DEFAUTS DES SOUDURES — CONTROLES DES SOUDURES

La bonne qualité des soudures qu'il exécute doit être la préoccupation constante du soudeur. La définition même de la soudure autogène doit être constamment présente à son esprit ; nous connaissons bien des soudeurs qui font des soudures mauvaises ou médiocres parce qu'ils **ne** s'attachent pas suffisamment à respecter les principes posés dans la définition.

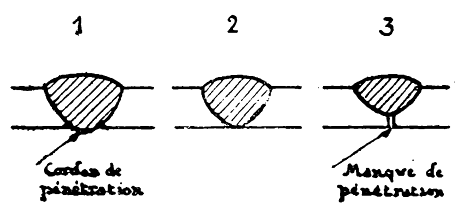
Le soudeur doit s'attacher à **fondre les bords** des pièces à assembler **sur toute leur épaisseur** avec **liaison parfaite entre le métal fondu de la pièce et le métal d'apport** sans piqûres, soufflures, dénaturation accidentelle du métal ni amincissement de la partie soudée.

Chaque fois que l'une quelconque de ces conditions ne sera pas réalisée il y aura défaut. Nous allons étudier ces défauts que nous appellerons **défauts mécaniques** parce que dûs à la manœuvre imparfaite du chalumeau et de la baguette d'apport. Il existe d'autres défauts consécutifs à la nature même du métal, ou encore à une mauvaise préparation des pièces ; nous les étudierons dans les chapitres suivants.

MANQUE DE PENETRATION.

Le défaut le plus grave et malheureusement le plus fréquent est le manque de pénétration dû à ce que les bords des pièces à assembler n'ont pas été fondus sur toute leur épaisseur.

Si l'on coupe transversalement des cordons de soudure on peut obtenir après polissage un des 3 cas figurés ci-conrre.



En 1 la soudure présente à l'envers un bourrelet, appelé cordon de pénétration, qui montre que les bords des tôles ont bien été fondus sur toute leur épaisseur.

En 2 ce cordon n'existe pas, mais les tôles ont cependant été fondues sur toute leur épaisseur, la soudure serait donc bonne.

En 3 on voit que les tôles n'ont pas été fondues sur toute leur épaisseur, cette soudure **manque de pénétration.**

Si nous avions examiné l'envers de ces soudures nous aurions pu

affirmer que la soudure 1 était bien pénétrée, grâce à la présence du cordon de pénétration.

Les soudures 2 et 3 auraient présenté le même aspect car le manque de pénétration de la soudure 3 est rempli par de l'oxyde, il est donc invisible, la surface de la tôle paraît lisse comme pour la soudure 2. Comme en réalité le cas de la soudure 2 est peu fréquent, on admet en principe que toute soudure ne présentant pas à lenvers un cordon de pénétration est défectueuse.

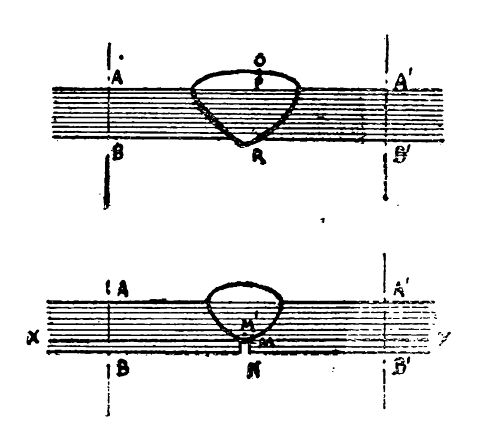
On peut dire que le défaut du manque de pénétration est caractérisé par l'absence du cordon de pénétration.

Les conséquences de ce défaut sur la résistance de la soudure sont très graves. Si en effet le manque de pénétration est important, la section de la pièce au droit du joint est plus faible que la section même de la pièce, d'où amoindrissement de la résistance.

On pourrait répondre à cela qu'il suffira de donner au cordon de soudure une surépaisseur telle que sa section soit toujours au moins égale à la section de la pièce, mais même dans ce cas le résultat cherché ne sera pas obtenu.

Considérons en effet deux soudures, l'une bien réalisée, l'autre manquant de pénétration et essayons de comprendre ce qui se passera si les pièces sont soumises à des efforts de traction.

Il est facile d'assimiler la pièce au lit d'une rivière si la quantité d'eau passant en AB est de 100 litres et si la section de passage est 100 mm2, il passe $\frac{100}{100} = 1$ litre à travers chaque millimètre carré.



Il en est de même pour A' B'. Représentons par une ligne chaque filet d'eau passant à travers 1 millimètre carré. La partie O P R laisse passer les filets d'eau de la même façon qu'en AB et A' B'.

Dans chaque millimètre carré de la partie O P R passe un filet d'eau et l'on dit que ces filets sont **uniformément répartis** dans toute la section.

Dans la figure de dessous nous voyons que les filets d'eau situés au-dessous du filet X Y ne peuvent pas franchir la digue M N, ils vont donc être déviés ainsi que le représente la figure. Au point M pluseiurs filets d'eau passeront à la fois, les filets ne seront plus uniformément répartis et on aura une **concentration** au point M.

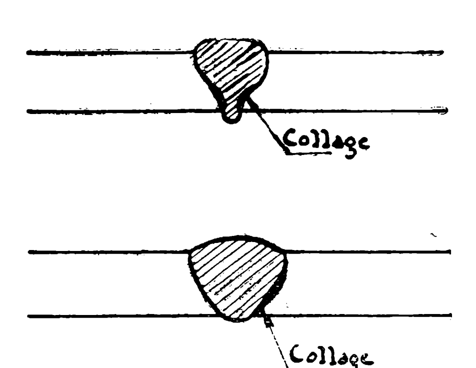
Si chaque ligne représentait au lieu de 1 litre par millimètre carré un effort de 1 kg. par mm2 dans la pièce soudée il en serait exactement de même.

Dans la figure du haut on aurait des efforts uniformément répartis, dans la figure du bas des efforts concentrés au point M. Le métal en M travaille donc beaucoup plus que les points voisins, l'effort auquel il est soumis est d'autant plus important qu'il y passe plus de lignes, donc que le manque de pénétration MN est plus grand. Si le point M est soumis à un tel effort qu'il y ait rupture à cet endroit, l'entaille vient en M' ; le point M' subira des efforts plus grands encore que M et il y aura à nouveau rupture, la vitesse de rupture ira en augmentant.

La conséquence du manque de pénétration est donc d'amener la rupture des pièces soudées sous un effort beaucoup plus faible que celui qui aurait été nécessaire si la pièce n'avait pas eu de défaut. On dit, dans le langage courant que le manque de pénétration forme une **amorce de cassure.** L'influence de cette amorce est sensible pour les pièces soumises à la traction, mais elle est considérable pour les pièces soumises à la flexion et au choc.

COLLAGE.

Le défaut le plus fréquent et le plus grave, après le manque de pénétration, est le collage. Il y a collage lorsque du métal en fusion, provenant soit du bain, soit de la baguette d'apport est projeté sur du métal solide. Il ne peut donc y avoir de liaison, le joint n'est pas homogène.



Comme ce défaut se produit généralement à la base des soudures, ses conséquences sont analogues à celles du manque de pénétration.

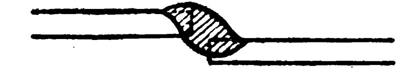
Pour l'éviter il faut porter nettement à fusion le métal de la pièce ou les couches de métal rapporté déjà solidifiées, il faut aussi orienter le chalumeau

de façon que son souffle ne chasse pas le métal fondu en dehors du bain de fusion et adopter les méthodes de soudure qui facilitent l'obtention de ce résultat (soudure demi-montante, montante, en arrière).

Si l'on casse une soudure présentant du collage on peut trouver soit des plages noires, soit des plages brillantes à grain fin qu'il faut apprendre à distinguer de la cassure même du métal. Dans le premier cas on a du **collage noir** sans aucune résistance, dans le deuxième cas **du collage blanc**, ce dernier se produit lorsque le métal de la pièce a été porté à une température suffisante pour que l'oxyde soit fondu, cet oxyde fondu opère une véritable brasure, ce qui explique que le collage blanc ait une certaine résistance à la traction, par contre sa résistance aux chocs est nulle et l'on comprend que des pièces soudées aient pu résister à des épreuves statiques et se soient rompues en service sous l'effet des chocs et des vibrations.

DENIVELLATION DES BORDS.

Il faut, avant de souder deux pièces de tôle, mettre leurs faces dans un même plan et veiller à ce qu'elles y restent en cours de soudure. Il y suffit d'un peu d'attention.

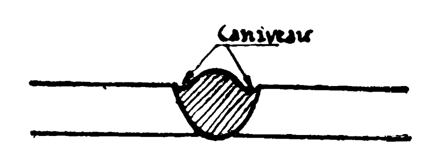


Lorsque les tôles ne restent pas dans un même plan il y a dénivellation des bords qui entraîne un affaiblissement de la ligne soudée.

De plus lorsque la soudure sera terminée il pourra être nécessaire de la sous-planer en plaçant un tas de martelage à l'envers. Ce martelage risque d'entraîner le cisaillement de la soudure.

CANIVEAUX.

Les affaiblissements de la soudure des deux côtés ou d'un seul côté de la ligne soudée par manque de matière sont appelées caniveaux.

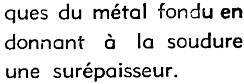


Dans les soudures à plat ou en 1/2 montante ils sont dûs généralement à l'emploi d'une flamme trop puissante. Dans les soudures d'angles intérieurs on risque des caniveaux sur les tôles verticales par suite d'une mauvaise tenue du chalumeau. De même en soudure montante, si vous ne

tenez pas votre dard parfaitement perpendiculaire au plan des tôles vous aurez un caniveau du côté vers lequel votre chalumeau aura été incliné.

AMINCISSEMENT DE LA LIGNE SOUDEE.

Nous avons vu qu'il fallait compenser la perte des propriétés mécaniques du métal fondu en donnant à la soudure une surépaisseur.

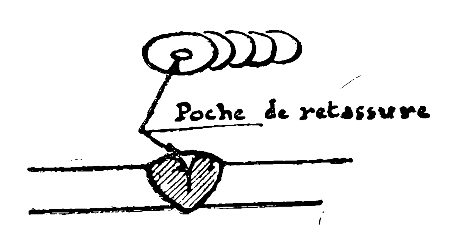




Il y a défaut lorsque cette surépaisseur n'existe pas ou est insuffisante.

POCHES DE RETASSURE.

On appelle poches de retassure, des cavités qui se forment dans le métal au moment de la solidification, suivant le processus ci-après : le métal fondu dissout une grande quantité de gaz.



Lorsque la flamme quitte un bain de fusion, les couches périphériques du bain se solidifient les premières, assez lentement pour permettre aux gaz dissous de passer dans la partie liquide.

Au moment où la partie centrale du bain se solidifie, les gaz dissous n'ont plus qu'une issue vers l'extérieur et ils s'échappent en laissant une cavité. Ces poches de retassures peuvent créer des fuites dans les réservoirs sous pression et même des amorces de cassure. Il s'en produit en cours de soudure chaque fois que l'on relève le chalumeau, c'est-à-dire à tous les arrêts occasionnés par les changements de baguette d'apport, déréglage de chalumeau, etc...

Pour les supprimer il suffit, à chaque reprise, de refondre le métal un peu en arrière de la poche. Si en terminant une soudure vous relevez brusquement le chalumeau vous aurez une poche de retassure volumineuse. Il faut relever le chalumeau très lentement pour permettre aux gaz de s'échapper lentement.

SOUFFLURES.

Les soufflures sont occasionnées dans certains métaux tels que la fonte et le bronze par la présence de gaz occlus qui ne peuvent s'échapper. Nous étudierons ces cas particulier lorsque nous traiterons des métaux qui y sont sujets.

DENATURATION DU METAL.

Les défauts dont nous avons parlé jusqu'à présent sont purement mécaniques, il en est d'autres qui intéressent la nature même du métal qui sont les dénaturations.

Les dénaturations peuvent être chimiques, physiques, physico-chimiques, certaines sont dûes à un mauvais réglage du chalumeau (dard oxydant qui « brûle » le métal, dard carburant qui l'enrichit en carbone et transforme un acier doux en acier mi-dur, dur ou même en fonte), d'autres sont dûes à sa composition ou à ses traitements thermiques.

Le soudeur doit être très au courant de ces dénaturations et il doit savoir quels sont, pour chaque métal, les moyens pour les éviter ou les faire disparaître. Nous reverrons cette question dans l'étude de la soudabilité des différents métaux.

CONTROLE DES SOUDURES

Certains des défauts que nous venons d'étudier peuvent être décelés par un simple examen visuel, le manque de pénétration, la dénivellation des bords, les caniveaux, les poches de retassure sont visibles et l'on peut donc parfois dire avec certitude qu'une soudure est mauvaise parce que présentant extérieurement de graves défauts.

Il est par contre impossible de dire d'une soudure qu'elle est bonne parce qu'elle ne présente pas de défauts visibles. Une soudure apparemment exempte de défauts peut avoir du collage, des soufflures et le métal peut être dénaturé, défauts qui enlèvent toute résistance à la soudure. Cela est très grave et a contribué dans une large part à entraver le développement de la soudure.

Pour déterminer la valeur exacte d'une soudure il n'existe qu'un moyen qui est de la soumettre à des efforts de traction, flexion, torsion, choc et de vérifier que la résistance, l'élasticité, la malléabilité (allongement) et la résilience (choc) sont aussi élevées dans la pièce soudée que dans le métal de base lui-même.

Mais ces essais sont destructifs pendant les essais de traction, pliage ou choc, la pièce a été rompue et il ne peut donc être question de soumettre à ces essais les pièces industrielles : réservoirs, charpentes, etc...

ESSAIS RADIOGRAPHIQUES.

On a songé à étudier les soudures sans les détruire, en les soumettant à l'action des rayons « X ». On prend une radiographie sur laquelle, avec beaucoup d'habitude on arrive à déterminer les défauts tels que manque de pénétration et soufflures, les collages sont difficiles à déceler et l'on peut dire qu'en pratique la radiographie ne donne pas de résultats certains, elle donne seulement des renseignements. Son peu de sûreté, les difficultés d'interprétation, le coût élevé du matériel de radiographie font que ce procédé est peu utilisé et que seuls de très gros ateliers et très gros chantiers font du contrôle radiographique **pour éliminer les soudures présentant des défauts importants.**

ESSAIS MAGNETOGRAPHIQUES.

Dans les essais magnétographiques on soumet la soudure à étudier à l'action de champs magnétiques que l'on rend visibles en projetant de la limaille de fer finement pulvérisée. Suivant la disposition de ce champ magnétique on peut déterminer approximativement si la soudure est homogène ou ne l'est pas ; l'interprétation est difficile, les défauts peu volumineux, mais dont l'action peut être très importante, ne peuvent être decelés.

Ce procédé ne donne pas plus de garantie que la radiographie, mais le matériel nécessaire à cet essai est moins coûteux et moins délicat.

ESSAIS MECANIQUES.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, les essais mécaniques sont des essais destructifs que l'on peut utiliser par exemple dans le cas de fabrications en grande série. On prélève alors au hasard dans la série un certain nombre d'échantillons que l'on soumet aux différents essais de traction : flexion, choc. Si les divers échantillons essayés donnent de bons résultats, on admet que toute la série est bonne. Dans le cas contraire on prélève de nouveaux échantillons en vue de déterminer si la fabrication peut être acceptée ou doit être refusée.

Cette façon de procéder n'est que rarement applicable et le contrôle sérieux est généralement impossible. Les pièces soudées pourront être refusées si les soudures présentent du manque de pénétration, des poches de retassure, des caniveaux, mais on aura toujours des doutes sur la valeur exacte d'une soudure à moins qu'elle ait été exécutée par un soudeur dont on connait la maîtrise et la conscience professionnelle. On peut dire en effet qu'un bon soudeur ne peut pas faire de la mauvaise soudure à condition que son état physique soit normal.

On a donc été conduit, non pas à contrôler directement les soudures industrielles, mais à contrôler les soudeurs. Pour cela on leur fait exé-

cuter périodiquement des éprouvettes que l'on soumet aux essais mécaniques que nous avons énumérés.

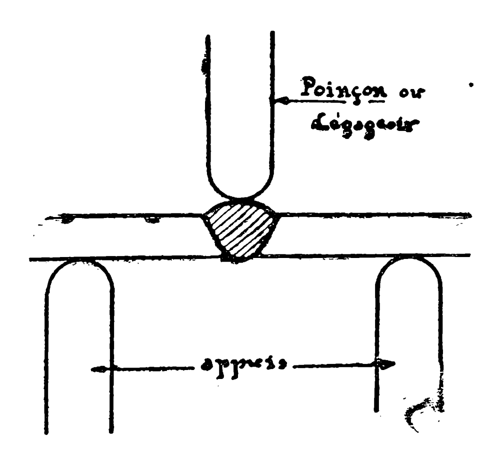
C'est ainsi que pratiquent les grands ateliers, les grands chantiers de constructions navales et les constructions aéronautiques.

ESSAIS DE TRACTION.

On effectue les essais de traction sur des machines qui permettent de déterminer la résistance, la limite élastique et l'allongement du métal soudé. Toutes les caractéristiques sont donc déterminées, mais ces machines coûtent cher et elles ne sont employées que dans les grandes administrations.

ESSAIS DE FLEXION.

On remplace généralement l'essai de traction par l'essai de flexion beaucoup plus facile à réaliser. Cet essai ne donne pas des renseignements aussi complets que l'essai de traction, mais il permet de comparer le métal soudé au métal de la pièce et renseigne sur la bonne exécution de la soudure, ce qui est habituellement suffisant.



L'effort de flexion peut être progressif et il faut pour cela disposer d'une presse, il peut être aussi appliqué brutalement au moyen d'un dégorgeoir et d'une masse.

L'éprouvette soudée doit être placée sur des appuis de façon que l'envers de la soudure, partie qui risque d'avoir des défauts (manque de pénétration, collage) soit tirée pendant la flexion, c'est-à-dire située à l'**extérieur du pliage** ; placée en sens inverse, c'est-à-dire l'envers à l'intérieur du pliage, les défauts ne travailleraient pas et une soudure même mal exécutée ne se romprait pas.

La figure donne l'écartement des appuis et l'épaisseur du poinçon en fonction de l'épaisseur de la tôle. Si la flexion est obtenue à la presse on doit pouvoir plier l'éprouvette en épingle à cheveux sans que la soudure présente de rupture ou de criqûre.

Dans le cas de flexion au dégorgeoir et à la masse, on introduit des efforts de choc qui peuvent amener la rupture de la soudure. Dans ce cas il suffit d'examiner la cassure pour voir quels sont les défauts d'exécution.

ESSAIS CHIMIQUES.

Les essais chimiques consistent dans l'attaque au moyen de réactifs chimiques de sections de soudures préalablement polies. L'examen après attaque révèle les collages, manque de pénétration, soufflures, piqûres.

Ces essais sont peu utilisés parce que peu intéressants en pratique.

Il faut attacher une très grande importance au contrôle des soudures, ou à défaut au contrôle des soudeurs.

Si les essais mécaniques de flexion sont indispensables pour vérifier qu'un soudeur est toujours apte à faire, avec toutes les garanties, le travail qui lui a été confié, ils sont aussi indispensables à l'apprenti soudeur. Celui-ci, s'il ne contrôle pas **chacune de ses éprouvettes avant d'en exécuter une autre,** risque de commettre les mêmes fautes, donc d'avoir les mêmes défauts et il ne progressera pas ou ne progressera que très lentement.

Donc pour apprendre à souder, comme pour se contrôler, il faut exécuter des éprouvettes et les soumettre à des essais de flexion.

■

CHAPITRE VI

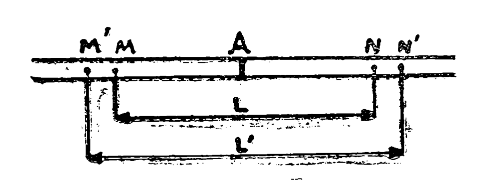
DILATATION ET RETRAIT

GENERALITES.

La connaissance des méthodes de soudure et leur parfaite application ne constituent qu'une faible partie de l'art du soudeur et une partie qui ne demande guère qu'une longue pratique.

D'autres problèmes que l'obtention d'un cordon de soudure bien réalisé se posent au soudeur dès qu'il veut entreprendre des travaux pratiques et en particulier des problèmes dûs à ce que les parties à souder se dilatent pendant qu'on les chauffe, puis se contractent pendant leur refroidissement.

Supposons que l'on ait à souder 2 fils métalliques de 2 millimères de diamètre, dont les extrémités sont en contact.

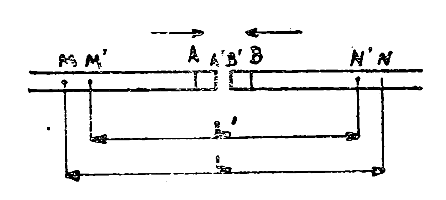


Marquons 2 points de repère MN distants d'une longueur L et étudions l'allure du phénomène depuis le début du chauffage jusqu'au refroidissement après soudure.

Le chauffage en A provoque la dilatation des extrémités des fils qui sont appliquées l'une sur l'autre ; la section étant faible, tous les points d'une même section sont à la même température, la dilatation est la même sur toutes les fibres. La dilatation se traduira par un éloignement des repères M et N qui viendront en M' et N', séparés par une distance L'.

Après soudure, la partie chauffée se refroidira, avec comme conséquence un **retrait** sensiblement égal à la dilatation. Si l'on mesure après refroidissement l'écartement entre les repères M et N on aura à nouveau une distance L. Les repères M et N ont repris sensiblement leur position primitive ; les 2 barres se sont comportées comme une barre unique, le phénomène de retrait a été exactement l'inverse du phénomène de dilatation, l'état final est sensiblement le même que l'état initial.

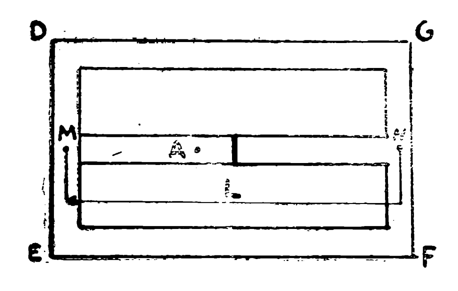
Plaçons deux autres fils de façon que leurs extrémités ne soient pas en contact. En chauffant les parties A et B on provoque une dilatation dans le sens des flèches; A vient en A', B en B', mais les repères M et N ne se déplacent pas; ils restent toujours, pendant le chauffage, à la même distance L l'un de l'autre.



Après soudure, pendant le refroidissement, le fil unique se raccourcira, les points M et N se rapprocheront en M' et N', leur distance ne sera plus que L' plus petit que L, l'état final est différent de l'état initial.

Dans le premier cas la longueur totale entre repères n'a pas varié; dans le second cas elle a diminué. Bien que dans ces deux exemples les pièces

à souder aient toujours été libres de s'allonger et de se raccourcir, les effets permanents de la dilatation et du retrait ont été très différents.



Supposons maintenant que nous ayons à réparer par soudure une pièce de la forme ci-contre dont le bras A est cassé.

Exécutons la soudure et étudions ce qui va se passer. Marquons au préalable deux points de repère M et N séparés par une distance L.

Sous l'influence de la chaleur le bras A se dilate, mais comme les points M et N sont situés sur le cadre D E F G, supposé rigide, **et resté froid,** ils ne pourront pas s'écarter sensiblement l'un de l'autre, la distance L restera invariable ; les molécules du métal au bras A se comprimeront les unes sur les autres et l'effort qui en résultera s'appellera une **Tension interne.** Une tension interne a les mêmes effets qu'un effort extérieur ; ce qui les différencie c'est que l'effort extérieur ou charge a une cause extérieure (pression mécanique, choc, traction, flexion), tandis que les tensions internes ont leur cause dans une transformation interne du métal. Dans le cas que nous étudions, cette transformation est l'élévation de température, les tensions qui en résultent sont des tensions de compression.

Lorsque le métal chauffé de A aura atteint sa température de forgeabilité, il se refoulera sur lui-même sous l'effet des tensions de compression ; lorsque le métal chauffé arrive à fusion il n'a plus aucune résistance et les tensions disparaissent. Effectuons la soudure puis laissons refroidir la pièce. Sous l'effet du retrait le bras A tend à se raccourcir et les points de repère M et N tendent à se rapprocher. Nous allons considérer plusieurs cas :

1°) **Le cadre extérieur est très rigide et parfaitement indéformable.**

Les points M et N ne peuvent donc pas se rapprocher. Le bras A tire sur lui-même ; il développe des **tensions internes de traction.**

a) Si ces tensions deviennent supérieures à la résistance du métal à un moment quelconque le bras cassera. La cassure ne se produira pas obligatoirement dans la soudure si celle-ci est bien faite. Il faut d'ailleurs remarquer que le moment où la pièce casse dépend de sa rigidité

ainsi que de la nature du métal. Les métaux fragiles à haute température tels que le cuivre et les bronzes donneront surtout des cassures à chaud, alors que la fonte donne des cassures après refroidissement presque total. Il faut donc que le soudeur connaisse les propriétés des métaux pour savoir à quel moment le retrait présente le plus de risques ;

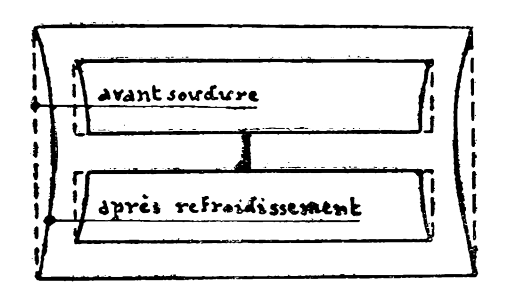
b) Si les tensions internes ne sont à aucun moment supérieures à la résistance du métal, le bras A ne cassera pas, mais après refroidissement les tensions subsisteront, diminuant d'autant la résistance effective de la pièce.

Si par exemple le métal a une résistance propre à la traction de 32 Kgs/mm2 et si les tensions ont une valeur de 15 Kgs/mm2, **la résistance vraie à la rupture** du bras A ne sera plus que :

32 — 15 = 17 Kgs/mm2, soit 53 % de la résistance initiale.

2°) **Le cadre extérieur peu rigide est déformable.**

Dans ce cas les tensions internes de traction dans le bras A qui se traduisent par un effort de flexion sur les bras D E et F G, provoqueront un fléchissement de ceux-ci, donc une **déformation.** Les conséquences d'une déformation sont souvent aussi graves et parfois même plus graves que celles d'une rupture; en effet, si la déformation ne peut être rattrapée et si elle est gênante pour le fonctionnement de la pièce en service, la pièce devra être rebutée.



Nous allons maintenant étudier les méthodes qui permettent de combattre les tensions internes, donc les cassures et les déformations dûes au retrait.

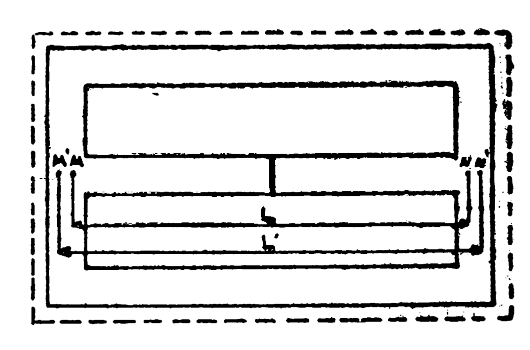
Dans les deux premiers exemples qui portaient sur la soudure de fils métalliques de faible section nous n'avons pas enregistré de tensions internes parce que la dilatation et le retrait étaient libres; les points de repère M et N pouvaient librement s'éloigner ou se rapprocher.

Dans le troisième exemple, celui du cadre, le bras A sur lequel s'effectuait la soudure ne pouvait ni se dilater, ni se rétrécir librement ; les points de repère M et N ne pouvaient ni s'éloigner, ni se rapprocher librement ; là est la seule cause des tensions internes.

Pour supprimer les tensions internes, il suffirait donc de permettre le libre éloignement des points M et N, puis leur libre rapprochement.

1er Procédé. — Chauffage général.

Si nous faisons participer l'ensemble de la pièce aux phénomènes de dilatation et de retrait en la chauffant en entier à haute température, toutes les parties de la pièce s'allongeront. Les points M et N viendront en M' et N', ils se seront librement éloignés.



Après refroidissement ils se seront rapprochés de la quantité dont ils s'étaient éloignés et il n'y aura pas de tensions internes.

Il y a lieu de remarquer que la pièce est portée à une température inférieure à la température de fusion du métal ; dans le cas de la fonte par exemple, dont le point de fusion est 1200° environ, la pièce sera portée à 850°; il y aura donc une différence de retrait entre la partie portée à 1200° et celle portée à 850° ; mais cette différence n'entraînera pas de tensions sensibles parce que entre ces deux températures, très élevées, le métal st plastique, très ductible et peut donc s'allonger sans effort.

REMARQUE IMPORTANTE.

Il ne suffit pas, pour avoir de bons résultats, de chauffer la pièce ; il faut aussi et surtout la **bien chauffer.** Un chauffage mal conduit qui entraînera des différences de dilatation, donc des tensions internes qui pourront provoquer des cassures ou des déformations ; la température de la pièce doit être à chaque instant aussi uniforme que possible, ce qui conduit à utiliser des fours et à placer les pièces de façon à ce que les parties les plus minces ne soient pas en contact direct avec le feu. Il faut aussi que le combustible brûle uniformément, sans température excessive et l'on utilise de préférence le charbon de bois, ou à défaut le bois.

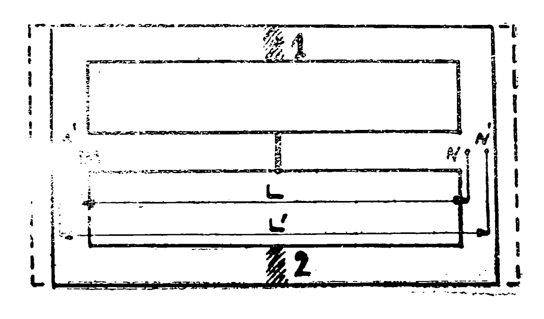
Ce qui est vrai pour le chauffage est vrai pour le refroidissement qui doit s'effectuer aussi uniformément que possible ; l'uniformité du refroi-

dissement dépendra de l'isolement du four et nous reviendrons sur cette question dans le chapitre qui traite de la soudure de la fonte.

Le procédé de chauffage total est surtout appliqué aux métaux non malléables, tels que fontes, bronzes, alliages carters d'aluminium.

2ème Procédé. — Chauffage localisé

Le chauffage général d'une pièce n'est pas toujours facile à réaliser et l'on peut, dans certains cas, le remplacer par des chauffages localisés en des points convenablement choisis pour que les repères M et N puissent se déplacer librement.



Dans l'exemple que nous traitons, il suffira de chauffer les points **1** et **2** avant et pendant la soudure, ce qui aura pour effet d'allonger la pièce dans le sens des flèches, donc d'éloigner les points M et N qui viendront en M' et N,. Quand la soudure sera terminée on laissera refroidir les points 1 et 2, ainsi que la soudure, à la même vitesse.

Le chauffage localisé peut être fait avec des foyers à charbon, des brûleurs à essence ou à mazout, voire même avec des chalumeaux sur lesquels on a fixé des **buses de chauffe.**

3ème Procédé. — Martelage en cours de refroidissement

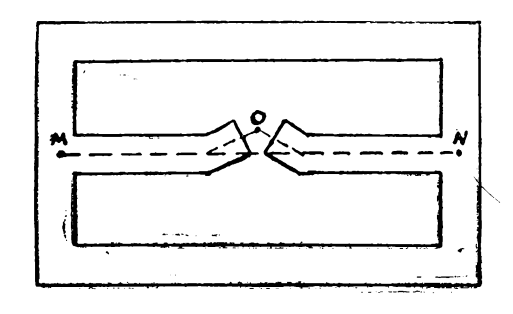
Si le métal de la pièce est malléable, on peut le marteler après soudure, en cours de refroidissement. Si le martelage est bien conduit, les efforts de compression exercés par le marteau annuleront les tensions internes de traction dûes au retrait.

Le martelage doit se faire à petits coups rapides, car il ne s'agit pas de **forger** le métal. La température à partir de laquelle doit se faire le martelage dépend de la nature du métal et de ses propriétés à chaud. C'est ainsi que le cuivre rouge doit être martelé à température assez élevée parce que fragile à chaud et risquant de donner des ruptures dès l'apparition des tensions internes. L'acier doux de construction sera martelé à partir d'une température plus basse, ses propriétés à chaud étant meilleures que celles du cuivre.

Ce martelage doit être poursuivi, en principe, jusqu'à complet refroidissement de la partie soudée, mais il y a lieu de remarquer qu'un tel martelage **écrouit** le métal et tend donc, dans certains cas, à le rendre fragile ; pour faire disparaître cet écrouissage on peut chauffer la partie martelée pendant assez longtemps, à basse température.

Le martelage a transformé le métal **coulé** de la soudure en métal **corroyé** dont les propriétés mécaniques sont nettement supérieures et ceci compense cela.

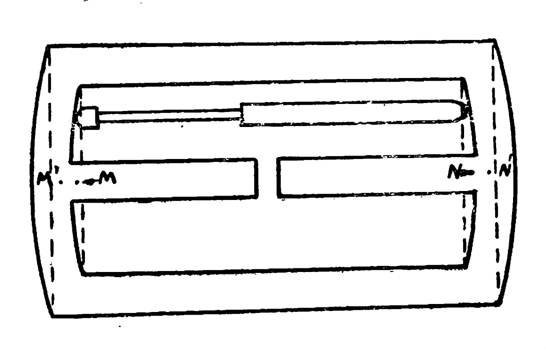
4ème Procédé. — Déformations préalables.



Ce procédé n'est applicable qu'aux pièces en métaux malléables ; il consiste en une déformation avant soudure, déformation qui opère mécaniquement l'éloignement des repères M et N.

Dans le cas que nous étudions, deux déformations préalables sont possibles :

a) Cintrons au marteau les extrémités à souder. La distance qui sépare les points M et N n'est plus MN (ligne droite), mais MoN ligne courbe plus longue que MN. Si longueur MoN — longueur Mn = raccourcissement dû au retrait, après refroidissement MoN sera confondu avec MN, le bras A sera redevenu rectiligne, sans effort.

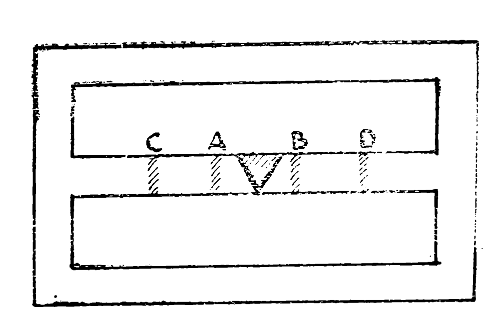


b) Plaçons un vérin comme le montre la figure, de façon à obtenir une déformation qui éloigne les repères M et N ; exécutons la soudure, puis desserrons le vérin au fur et à mesure que la pièce refroidit ; si la déformation a été convenable, la pièce reprendra sa forme, sans tension.

5ème Procédé. — Chauffage après soudure

Il est des cas où aucun des procédés ci-dessus n'est applicable, mais on peut alors, sinon supprimer les tensions, du moins les ramener à une valeur suffisamment petite pour qu'elles ne soient plus dangereuses.

Pour cela, on exécute la soudure, puis on chauffe au chalumeau des zônes telles que A — B — C — D, de part et d'autre de la soudure, à des températures de moins en moins élevées. Les tensions de compression développées par le chauffage en A diminuent les tensions de traction qui s'exercent sur la soudure ; il en est de même pour les tensions de traction qui se développent en A lors du refroidissement de cette zône, puisque les tensions de compression développées en B par le chauffage de cette dernière zône viennent les compenser en partie. Au lieu d'avoir des tensions concentrées sur la ligne de soudure, on aura des tensions réparties dans toute la partie chauffée et les tensions unitaires seront ainsi beaucoup plus faibles ; elles ne seront donc pas dangereuses.

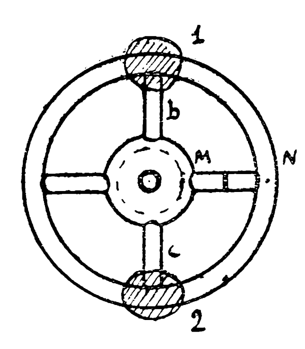


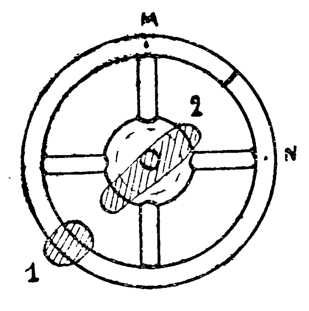
CONCLUSION DES GENERALITES

Ayant compris l'allure des phénomènes engendrés par les dilatations et retraits, il suffit d'appliquer les principes ci-dessus aux problèmes pratiques qui se posent au soudeur pour les résoudre avec le maximum de chances de succès. Nous devons toutefois signaler que ces problèmes se compliquent parfois du fait que les pièces que l'on a à souder possèdent, dans leur masse, des tensions internes originelles provenant soit de la coulée, soit du laminage, soit de l'usinage, et que ces tensions peuvent, sans qu'il soit possible de le déterminer à l'avance, s'ajouter aux tensions dûes au retrait, ou au contraire, s'en retrancher et provoquer parfois des déformations de sens contraire à celles que l'on avait prévues par le raisonnement.

EXEMPLES PRATIQUES :

1°) Réparation d'un volant en fonte :





1°) Réparation d'un volant en fonte :

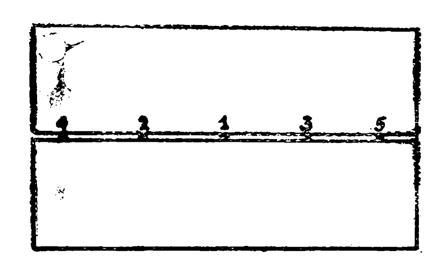
a) **Cassure d'un bras.** — Si l'on soude sans précaution les points M et N ne pourront pas s'éloigner pendant soudure, ni se rapprocher pendant le refroidissement. La solution consiste en un chauffage général ou encore dans des chauffages localisés aux points 1 et 2. Ces chauffages ont pour effet d'allonger les bras b et c ainsi que la jante, ce qui éloigne l'un de l'autre les points M et N.

b) **Cassure de la jante.** — Les repères sont en M et N ; on peut faire un chauffage général ou des chauffages localisés en 1 et 2.

La figure donne la position des repères après les chauffages en 1 et 2.

2°) Pointage des tôles :

Sous l'effet de la chaleur les tôles se déforment dans tous les sens et pour les souder convenablement il faut maintenir leurs bords dans un même plan. On y arrive en pointant les tôles au préalable, c'est-à-dire en faisant de distance en distance de solides points de soudure dont l'écartement et l'importance sont fonction de l'épaisseur de la tôle.



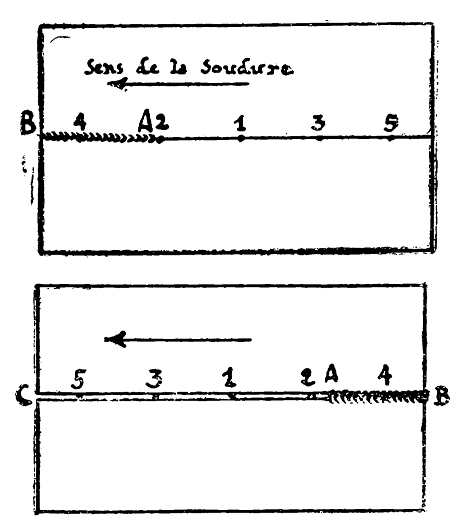
Une tôle mince se déformant davantage nécessite des points très rapprochés; pour de la tôle de 15/10, un point tous les 5 cms ;

sur la tôle épaisse de 10 m/m par exemple, un point solide tous les 20 cms suffit. Pour exécuter le pointage on opère de la façon suivante :

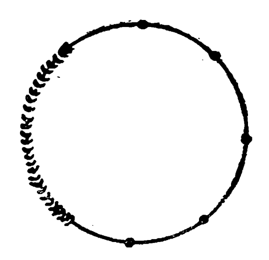
Un premier point au centre de la ligne à souder, puis des points alternativement de part et d'autre. Faire les points d'extrémité à 2 ou 3 cm des bords.

3°) **Talon :**

Après pointage des tôles, il n'est pas indifférent de commencer la soudure de n'importe quelle façon.



Commençons au point A les bains successifs vont se solidifier. Lorsque nous serons à quelques centimètres du point 2, ce point va se dilater ; les tôles ne pourront jouer vers l'avant, tenues par les points froids 1 3 5, l'effort exercé par le point 2 tendra donc à ouvrir les tôles vers l'arrière. Comme les métaux passent, à certaines températures, par des points de grande fragilité, nous risquons d'avoir rupture en A. Pour éviter cet accident il suffit de commencer la soudure par un **talon** A B partant du point 3. Ensuite en retournant la tôle, on finit la soudure de A vers C. De cette façon, quels que soient les efforts exercés par la dilatation des points 3 et 1, la tôle est solidement maintenue vers l'arrière par le talon qui s'est refroidi et vers l'avant par les points froids 2 et 4.

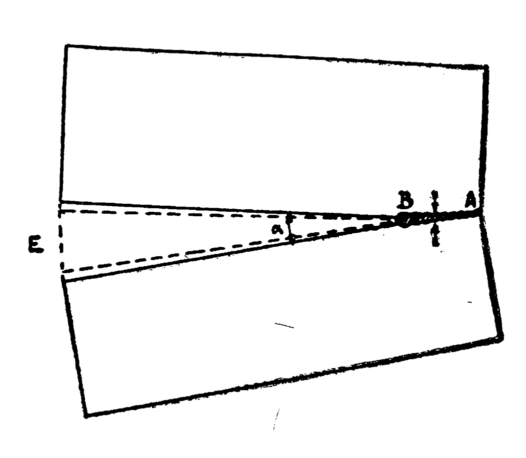


Dans le cas de soudure suivant une ligne fermée, il ne peut être question de faire un talon, la portion de soudure initiale seule dangereuse ayant toujours un même nombre de points froids en avant et en arrière.

De même, il est inutile de faire un talon dans les soudures d'angles.

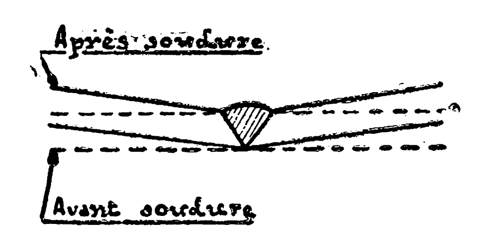
4°) **Soudure sans pointage :**

Le pointage des tôles avant soudure n'est pas absolument nécessaire, à condition de prendre d'autres dispositions tendant à utiliser les déformations en cours de soudure.



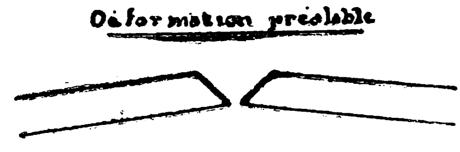
Laissons à cet effet, un certain écartement entre les 2 tôles à l'extrémité opposée au point de départ A. Le bain de fusion A, en se solidifiant va tendre à rapprocher les deux tôles. L'effort de traction produit par le retrait du bain B va agir à la façon d'une force sur un levier. Les tôles vont faire un mouvement de cisaille, l'angle va diminuer. Si l'angle initial a bien été déterminé, lorsqu'on arrivera à l'extrémité E les deux tôles seront parfaitement jointives. La difficulté vient de la détermination de cet angle qui est fonction de l'épaisseur des tôles, de la puissance du chalumeau, de la vitesse d'avancement, tous facteurs variables d'un soudeur à un autre, et pour un même opérateur de circonstances parfois indépendantes de sa volonté. Pour cette raison, seuls les soudeurs entraînés peuvent utiliser cette méthode. Remarquons en passant qu'un aide ou des montages sont nécessaires pour maintenir alignés les bords qui tendent à se déniveler.

5°) **Bombé des tôles :**



Si l'on place dans un même plan les tôles à souder, on constate, après refroidissement qu'elles ne sont plus dans un même plan, dans le cas où la soudure n'a été effectuée que d'un seul côté. Cela est dû à ce que l'échauffement a été plus

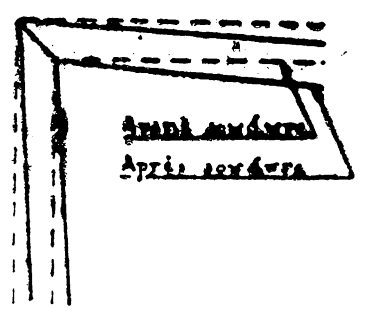
grand sur la face soudée que sur l'autre, et que, en conséquence, le retrait y a été plus important.



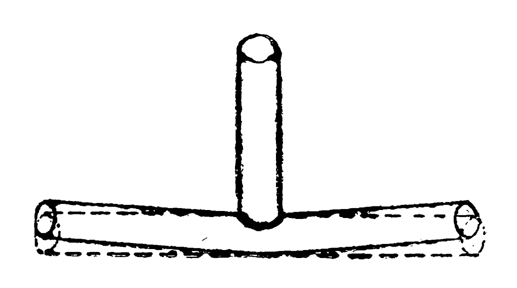
Ce remède consiste à donner aux tôles une déformation préalable en sens inverse.

6°) **Soudure d'une équerre :**

Si l'on place à 90° les deux branches de l'équerre et que l'on soude de A vers B, après soudure les 2 branches se seront fermées et l'ouverture sera par exemple de 85°. Les remèdes sont, soit un martelage après soudure, soit une déformation préalable qui consiste à donner aux branches de l'équerre avant soudure une ouverture supérieure à 90°. Dans le cas de fabrication en série, on détermine par quelques essais la valeur à donner à cette ouverture et on forme un gabarit.



7°) **Pose d'une tubulure sur un tube :**



Après soudure le tube est cintré, la génératrice du tube passant par l'axe de la tubulure étant à l'**intérieur** de la courbe. Il aurait fallu, soit brider fortement le tube sur un fer à U par exemple, ce qui aurait bien évité la déformation, mais aurait entraîné des tensions internes, soit déformer préalablement le tube, ce qui est préférable.

Nous verrons qu'on peut aussi redresser le tube après soudure au moyen de **chaudes de retrait.**

8°) **Réparation de cassures dans des grandes parois :**

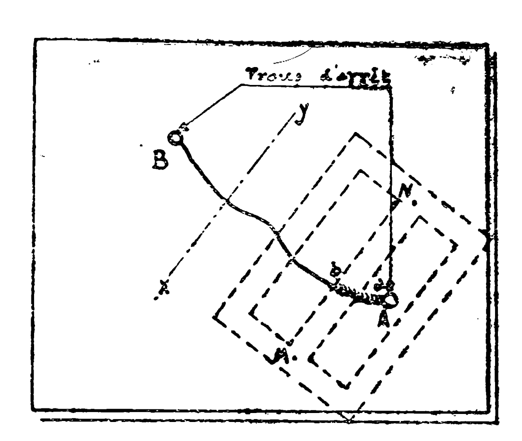
Lorsqu'on effectue une réparation par soudure autogène dans une grande paroi et principalement dans une paroi plane, on risque, au retrait d'avoir des fissures dans la soudure ou des tensions internes qui peuvent être dangereuses pour les réservoirs sous pression tels que les chaudières. Pour combattre ces tensions il ne peut être question de chauffer entièrement l'appareil à réparer, mais nous pouvons utiliser quelques-unes des méthodes étudiées dans le paragraphe « Généralités ».

Cette question présentant une grosse importance, nous allons l'étudier particulièrement.

PREPARATION.

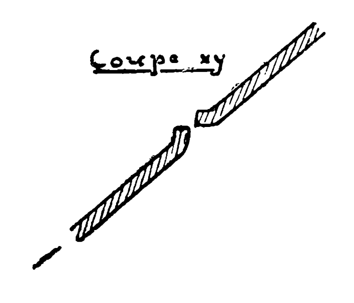
Dans tous les cas où l'on a à réparer des fissures il faut, avant toute chose, en déterminer très exactement les extrémités, puis **arrêter** les fissures en perçant des trous dits **trous d'arrêt,** d'un diamètre de 6 à 8 m/m ; cela est extrêmement important si l'on veut éviter que la fissure se prolonge pendant le chauffage. La détermination des extrémités des fissures est généralement difficile et bien des soudeurs ont des insuccès pour ne pas avoir apporté suffisamment de soin dans l'examen de la pièce. Dans le cas de doute, on peut percer à chaque extrémité 2 trous d'arrêt distants de quelques millimètres.

Etude du problème : Si nous soudons de A vers B, nous aurons au retrait des tensions dans le cordon a 'b. Il **est** inutile de refaire le raisonnement complet et il suffit de placer sur la tôle à souder la **grille** que nous avons étudiée dans les généralités. Les points de repère M et N ne peuvent pas s'éloigner pendant le chauffage puisqu'ils font partie d'un **cadre** rigide ; ils ne pourront non plus se rapprocher pendant le refroidissement ; toutes les conclusions que nous avons tirées dans les généralités sont donc valables et nous pouvons, si nous avons affaire, ainsi que c'est le cas général, à des métaux malléables (fer, acier



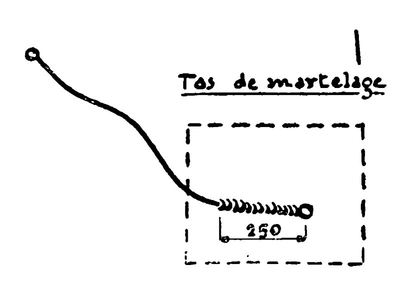
doux, cuivre, aluminium) utiliser l'une des méthodes suivantes : déformations préalables — Martelage après soudure — Chauffage après soudure.

Méthode des déformations préalables :



On peut, si l'on a accès à l'envers, relever légèrement les bords de la cassure ; si la tôle est mince cette opération peut se faire à froid, si la tôle est épaisse on peut chauffer les bords avec un chalumeau puissant muni d'une **buse de chauffe.** Nous avons vu que sous l'effet du retrait après soudure les bords relevés vont s'affaisser ; il faut une longue pratique pour déterminer exactement la déformation préalable à faire subir aux tôles, mais il vaut mieux déformer **trop que pas assez.** Cette méthode n'est pas applicable pour les soudures montantes B et C.

Méthode du martelage :



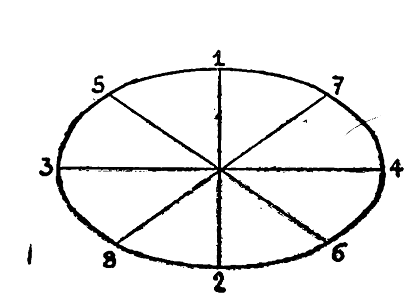
Dans cette méthode on applique sur l'envers de la soudure un tas de martelage (tas, masse pour tenir le coup) et l'on martèle après exécution de portions de soudure de quelques centimètres de longueur. Le martelage ne doit pas être commencé à trop haute température, mais il doit être poursuivi jusqu'à une température assez basse ; on procède ainsi par portions de quelques centimères, puis on martèle ensuite toute la ligne, toujours à coup portant, jusqu'à refroidissement total.

Méthode du chauffage après soudure :

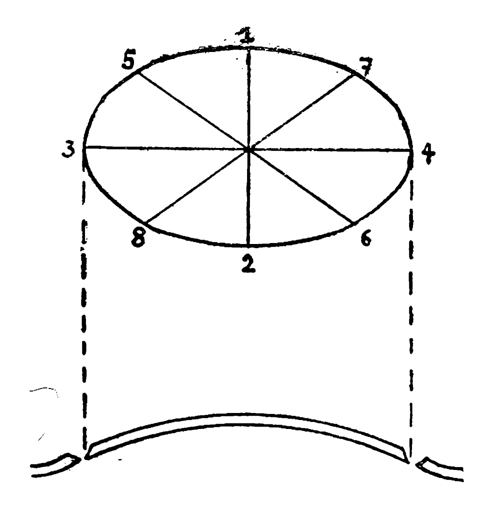
On effectue la soudure par portions de quelques centimètres et pendant le refroidissement de chaque portion on chauffe de part et d'autre du cordon de soudure (voir explication — Généralités — 5ème procédé).

9°) **Pose de pièces dans une paroi :**

Quand on veut poser une pièce dans une paroi il est recommandé de découper le trou dans la paroi suivant des lignes courbes et non pas suivant des lignes polygonales à angles rentrants vifs, ceux-ci constituant des amorces de cassure. On utilise de préférence les contours circulaires et ellipsoïdaux. La pièce étant posée, si l'on commence la soudure au point A et que l'on soude de façon continue suivant le sens de la flèche, lorsqu'on sera arrivé au point B, la ligne B A qui reste à souder peut être assimilée à une cassure dans une grande paroi et il faudra, pour éviter les tensions, appliquer l'une des 3 méthodes exposées à l'exemple précédent.



Il est préférable de procéder à une déformation préalable de la pièce par emboutissage léger. Il est même bon, si cela est possible, de relever légèrement les bords du trou découpé dans la paroi.

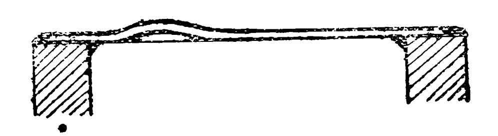


On pointe ensuite la pièce par points diamétralement opposés (1-2) (3-4) (5-6) (7-8), puis on soude les portions opposées : (1-5) (2-6) (3-8) (4-7)... sous l'effet du retrait la pièce se planera d'elle-même.

Les exemples que nous avons étudiés sont d'application courante ; il en existe à l'infini, plus ou moins compliqués, plus ou moins faciles à résoudre ; le raisonnement du soudeur se trouvera parfois controuvé et le soudeur devra compléter ses connaissances théoriques sur la question des dilatations et retraits par l'examen attentif des résultats qu'il obtiendra dans la pratique. Il devra en tirer des conclusions qui, lorsqu'elles seront opposées au raisonnement théorique, ne le seront qu'apparemment, les divergences entre ces conclusions provenant soit des tensions originelles de la pièce, soit d'une erreur de raisonnement.

Chaudes de retrait :

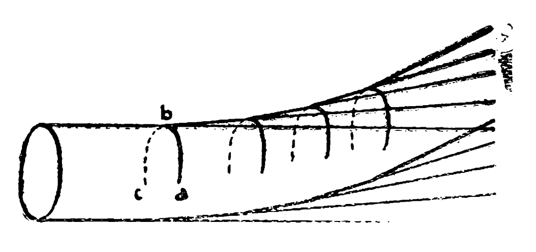
Les phénomènes de retrait, si gênants pour le soudeur peuvent être utilisés en chaudronnerie pour le formage de certaines pièces.



Soit par exemple une tôle plane, fixée solidement sur un cadre indéformable, tôle qui a été déformée accidentellement. Il n'est pas possible de la planer par martelage ; cette opération allongeant les fibres, le martelage uniformisera la déformation mais ne la supprimera pas.

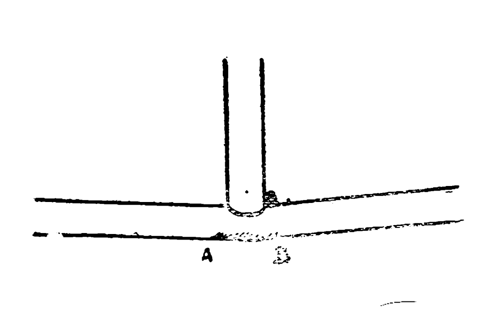
Pour supprimer la déformation consécutive à un allongement du métal il faudrait **rétreindre** celui-ci, et l'on peut arriver à ce résultat en utilisant le retrait. Le principe du procédé consiste à porter rapidement quelques points bien choisis à une température suffisamment élevée pour que le métal soit plastique, les parties chauffées étant maintenues **serties** dans une partie froide, donc indéformable, vont développer des tensions de compression qui provoqueront un refoulement du métal sur lui-même. Dans le cas où la rigidité des tôles serait insuffisante, il se produira à l'endroit chauffé une légère boursoufflure qui sera réduite au marteau. On refroidira ensuite rapidement par aspersion d'eau ; au retrait les parties chauffées tireront sur la partie déformée et réduiront la déformation.

On arrive facilement avec quelques expériences à des résultats parfaits.



Cette méthode est aussi utilisée pour le cintrage sur grands rayons des tubes d'acier de grand diamètre. Le procédé habituellement appliqué consiste à découper des secteurs qui sont ensuite soudés entre eux.

Les chaudes de retrait permettent une vitesse plus grande, une plus belle présentation et une économie sérieuse. Il suffit de procéder à des chaudes sur des sections telles que a b c, la génératrice b étant celle qui doit se trouver à l'intérieur de la courbe.



On peut utiliser aussi les chaudes de retrait pour redresser des pièces déformées par le retrait de soudure.

C'est ainsi que le tube cintré par suite de la soudure d'une tubulure peut être redressé par chauffage rapide et refroidissement brutal de la zône A B.

CHAPITRE VII

SOUDURE DES FERS ET ACIERS

FER

Le fer pur n'existe pour ainsi dire plus dans l'industrie comme élément de construction, mais nous en étudierons les propriétés car celles des aciers doux en sont très voisines.

Propriétés :

Le fer fond à 1500°, sa fusion est donc facilement réalisée avec la flamme oxy-acétylénique (3500° environ).

Les oxydes de fer fondent à 1300° environ ; quand le fer sera liquide, les oxydes le seront donc déjà eux aussi.

Ces oxydes ont une densité égale à 5, tandis que celle du fer est 7,8. Les oxydes, plus légers, surnageront donc le bain de fusion et ils ne gêneront pas la soudure. On n'aura pas de risques d'inclusion d'oxydes dans le métal en fusion ; les soudures seront saines.

La conductibilité thermique du fer est 1/6 de celle du cuivre, métal dont la conductibilité est voisine de celle de l'argent, métal le plus conducteur. La faible conductibilité du fer explique que l'on fasse abstrac-

tion de la **masse** (ou dimensions) des pièces à souder dans le choix du débit des chalumeaux ; ce choix se fait uniquement en fonction de l'**épaisseur** des pièces.

Le fer est très ductible, très malléable ; il s'allongera facilement sous l'effet des tensions dûes au retrait ; ces tensions seront donc moins dangereuses et les précautions à prendre seront moins sévères que pour un métal comme la fonte.

Le fer porté à haute température **brûle** dans l'oxygène pur.

Le fer est parfaitement soudable et peut être classé, au point de vue soudabilité, après le plomb, l'aluminium et la fonte grise.

ACIERS AU CARBONE

Les aciers sont des alliages de fer et de carbone, la quantité de carbone combiné au fer peut varier de 0,05 à 1 %.

La résistance à la traction, la dureté, augmentent avec la teneur en carbone, mais la fragilité augmente aussi.

Le point de fusion s'abaisse quand la teneur en carbone augmente.

La fluidité du métal fondu augmente aussi avec la teneur en carbone.

Une classification arbitraire mais commode est la suivante :

Aciers extra doux	:	0,05 à 0,15 %	de	carbone.
Aciers doux	:	0,15 à 0,25 %	»	»
Aciers demi-doux	:	0,25 à 0,40 %	»	»
Aciers demi-durs	:	0,40 à 0,60 %	»	»
Aciers durs	:	0,60 à 0,80 %	»	»
Aciers extra-durs	:	0,9 à 1 %	»	»

Aciers doux :

Au point de vue de la soudabilité les aciers doux englobent les aciers extra-doux, doux et demi-doux. Leur soudabilité est d'autant meilleure que la teneur en carbone est faible ; la présence de soufre et de phosphore diminue la soudabilité.

Les aciers Martin ont une meilleure soudabilité que les aciers Thomas.

Les soudures sur aciers doux laminés peuvent être améliorées par le martelage à chaud qui transforme le métal fondu en métal corroyé analogue, au point de vue propriétés mécaniques, au métal laminé.

Pour la soudure des tôles oxydées ou sales (peinture, huiles) on utilise un produit décapant l' « Anox » par exemple.

Les méthodes utilisées pour la soudure des aciers doux sont exposées au chapitre « Les Méthodes de soudure », s'y reporter.

Aciers mi-durs :

La soudabilité des aciers mi-durs est moins bonne que celle des aciers doux.

L'écart entre le point de fusion de l'acier et celui des oxydes est plus faible, d'où risques d'inclusions d'oxyde.

Le métal fondu est plus fluide, d'où risques de collage. (Utiliser les méthodes évitant le collage).

Le traversé est plus difficile à réaliser et l'on a des « rochages » à l'envers.

Les soudures doivent être exécutées rapidement en utilisant un produit décapant, l' « Anox » par exemple.

Le métal d'apport sera un acier mi-dur, ou mieux l'acier **Trimasic** dont nous parlerons plus loin.

Aciers durs :

Les aciers durs et extra-durs sont difficilement soudables. Sous l'effet des hautes températures le métal se dénature par suite de l'oxydation interne, phénomène analogue à celui connu des forgerons sous le nom de « Brûlure du métal ». Si l'on fait subir à la pièce soudée un essai de flexion, il y aura rupture dans la zône dénaturée, juste à côté du cordon de soudure.

De plus il y a fréquemment des inclusions d'oxydes parce que les températures de fusion du métal et des oxydes sont à peu près identiques.

La technique de soudure des aciers durs est la suivante :

Utiliser un chalumeau puissant pour que la fusion du métal soit rapide et ne soit pas prolongée.

Porter au rouge cerise toute la ligne à souder.

Exécuter la soudure rapidement, avec un métal d'apport acier dur, ou mieux l'Altor dont nous parlerons plus loin. Utiliser aussi un produit décapant, l' « Anox » par exemple.

Après soudure marteler énergiquement, tant que le métal est à une température supérieure au rouge sombre.

Recuire à 950° (rouge très clair), laisser refroidir et recuire à nouveau à 650° (rouge sombre).

La soudure des aciers durs se complique du fait que ces aciers sont généralement traités thermiquement (trempe ou trempe suivie d'un revenu) et que la soudure fait disparaître le traitement thermique. Il faut donc être très prudent pour la soudure de ces aciers.

Aciers coulés :

Les qualités d'aciers coulés sont assez variables et leur soudabilité dépend de leur teneur en carbone, ainsi qu'en impuretés telles que le soufre et le phosphore.

Les aciers coulés sont beaucoup moins ductibles que les aciers laminés et les effets du retrait seront beaucoup plus sensibles que sur ces derniers. Il faudra prendre des précautions analogues à celles que l'on prend pour les pièces de fonte.

La méconnaissance de la nuance d'acier coulé que l'on a à souder rend la soudure très hasardeuse et l'on a intérêt, dans la plupart des

cas, à utiliser la **soudobrasure** comme procédé de réparation. Nous verrons plus loin en quoi consiste ce procédé qui permet la réparation avec le maximum de garantie, de pièces telles que : corps de pompe, trompettes de pont arrière de véhicules automobiles, tambours de freins, rayons de roues de wagonnets et pièces mécaniques diverses.

ACIERS SPECIAUX

Les industries mécaniques et chimiques tendent de plus en plus à employer, au lieu des aciers au carbone, des aciers dits spéciaux parce qu'ils renferment, en dehors de cet élément, des composants tels que le Manganèse, le nickel, le chrome... qui modifient de façon très sensible les propriétés opératoires inhérentes à certains de ces aciers, la grosse difficulté réside dans la méconnaissance de la nature des pièces que l'on a à souder. Les constructeurs ne donnent que très rarement la composition de leurs aciers de construction et le soudeur doit généralement travailler un peu dans l'inconnu. Il saura que certaines pièces d'usure sont en acier au Manganèse, que certaines pièces de résistance sont en acier au nickel, que les aciers qui résistent aux hautes températures sont riches en chrome, etc...

Nous n'allons ici que passer rapidement en revue les aciers industriels les plus courants.

Aciers au Nickel :

Servent généralement à la fabrication de pièces mécaniques devant présenter une résistance à la traction élevée et devant être exempts de fragilité tels que : pièces de levage de cages de mines, vilebrequins, engrenages. Ces aciers se soudent avec un métal d'apport de même nature, sans difficulté spéciale, mais les aciers à haute teneur en nickel doivent être soudés avec une poudre décapante spéciale.

Les aciers à faible teneur en nickel peuvent être soudés avec l'acier **Tostic.**

Aciers au Manganèse à 13 % :

Ces aciers quoique n'ayant pas une grande dureté résistent très bien à l'usure par frottement ; on les emploie dans la fabrication des cœurs de croisements coulés des chemins de fer, des godets de dragues, des pièces d'usure de dragues, des dents de pelles mécaniques.

Ils sont très sensibles à la surchauffe, sont très fragiles à l'état recuit et leur coefficient de dilatation est très élevé. En conséquence, leur soudure ou leur rechargement oxy-acétylénique est à peu près impossible. Les réparations se font donc à l'arc électrique avec des électrodes au Manganèse pour les rechargements et avec des électrodes en acier inoxydable 18/8 pour les réparations de cassures.

Aciers au chrome :

Les aciers simplement au chrome sont peu utilisés. Un type d'acier à haute teneur en chrome est **réfractaire,** c'est-à-dire subit sans dommage les hautes températures. Pour des raisons de retrait ces aciers ne sont guère soudables qu'à l'arc électrique. Les électrodes à utiliser sont des électrodes inoxydables à haute teneur en chrome.

Aciers inoxydables :

Ces aciers doivent résister à l'action corrosive de certains produits chimiques. Il en existe des qualités très diverses et chaque aciériste en élabore une gamme très étendue.

Les aciers inoxydables du commerce présentent après soudure des zônes de moindre résistance à la corrosion ; ces zônes sont situées dans les tôles de base, le long des cordons de soudure ; cet amoindrissement de résistance chimique est dû à une dénaturation ; il entraîne une attaque rapide du métal qui provoque une désagrégation des cristaux, d'où des **fissurations intercristallines.** Ces aciers ne sont donc pas soudables.

Actuellement les aciéristes peuvent livrer des aciers inoxydables qui ne présentent pas ce grave défaut et il faut spécifier à son fournisseur que l'on veut un **acier soudable.**

Les aciers inoxydables contiennent des éléments tels que : Tungstène, vanadium, columbium, titane, nickel et ils contiennent tous du chrome. L'oxydation de ce chrome (métal très avide d'oxygène) en cours de soudure est très gênante ; pour l'éviter il faut protéger l'envers de la soudure avec du **silicate de soude sirupeux ;** il faut aussi utiliser une poudre décapante spéciale.

Naturellement le métal d'apport doit avoir une composition identique à celle du métal de base.

Flamme de soudure parfaitement neutre.

Le décapage des tôles après soudure se fait en utilisant un mélange en parties égales d'acide azotique et d'acide chlorhydrique.

Aciers semi-inoxydables :

Ces aciers contiennent généralement du cuivre ou encore du chrome et du cuivre.

On tend de plus en plus à les utiliser dans la construction métallique parce que leur résistance à l'oxydation est assez bonne et que leurs caractéristiques mécaniques sont nettement supérieures à celles des aciers doux de construction.

Leur soudabilité est bonne; la soudure ne nécessite pas l'emploi de métaux décapants.

Le métal d'apport à utiliser doit avoir la même composition que le métal de base. On peut aussi utiliser l'acier **Trimasic** ou l'acier **Tostic.**

METAUX D'APPORT POUR SOUDURE DES ACIERS

Nous avons dit, dans la définition de la soudure autogène, que **le métal d'apport** devait avoir les mêmes caractéristiques que le métal des pièces à souder, mais nous avons vu que **le métal déposé** dans ces conditions pouvait avoir des caractéristiques inférieures à celles du métal de base parce que les soudures ne sont pas exemptes de défauts et parce que le métal coulé a des propriétés mécaniques inférieures à celles du métal laminé.

Il est donc naturel, pour compenser cet abaissement des propriétés du joint soudé, d'utiliser des métaux d'apport donnant à la soudure des caractéristiques supérieures à celles du métal des pièces.

Bien des soudeurs, sous prétexte d'économie, continuent à utiliser comme acier d'apport des aciers quelconques, achetés n'importe où, dont la teneur en carbone, en soufre et phosphore n'est pas définie et qui risquent de donner des soudures peu résistantes, fragiles à chaud, voire même fragiles à froid.

Si l'on considère que la soudure représente au maximum 10 % de la valeur totale de la construction, l'économie **brute** réalisée par l'emploi d'un métal quelconque est moins de 0,3 % du prix de la construction. Cette économie est ridiculement insignifiante et, en réalité elle risque d'être illusoire, voire même négative. En effet, une soudure exécutée avec un métal d'apport quelconque risquera de provoquer des zones de moindre résistance mécanique ou chimique qui seront préjudiciables à la bonne tenue en service des assemblages soudés.

Ce qui est vrai pour les assemblages par soudure l'est aussi pour les rechargements et nous en verrons plus loin quelques exemples.

Ce n'est donc pas sans raison que la technique moderne de la soudure est basée sur l'emploi de métaux d'apport spéciaux, supérieurs à tous points de vue aux métaux à souder.

Nous allons étudier les principaux d'entre-eux :

ALFERDO.

Ce métal est un acier extra doux, exempt de soufre et de phosphore et spécialement utilisé pour la soudure des tôles d'acier doux Thomas courant. Le dépôt ne doit pas être cémenté.

ACIER TRIMASIC.

C'est un acier au silicium dont la résistance à la traction, à l'état fondu après dépôt au chalumeau est de 50 Kgs/mm2. Il n'est pas fragile, sa fusion est agréable et il permet de réaliser facilement de bonnes soudures. On l'utilise pour la réparation de pièces d'acier doux et mi-dur devant avoir une bonne résistance : arbres, vilebrequins, essieux de véhicules automobiles, éclisses de raccord de rails, maillons de chaîne, châssis d'autos.

Son emploi en rechargements se généralise dans les Compagnies de chemin de fer qui prescrivent son utilisation pour tous les rechargements de pièces de mouvement : bielles, chapes diverses, glissières...

Il prend facilement la cémentation et donne, après cémentation et trempe des duretés qui dépassent 600° Brinell.

On l'utilise aussi pour la soudure des tôles d'acier doux Martin qui doivent travailler en atmosphère corrosive, par exemple dans les appareils d'extraction d'huiles de grignon qui renferment du sulfure de carbone.

ACIER TOSTIC.

C'est un acier au nickel dont la résistance à la traction, après fusion au chalumeau est de 55 Kgs/mm2.

Les soudures à l'acier Tostic sont assez délicates ; elles nécessitent l'emploi de méthodes évitant le collage ; le métal ne doit pas être surchauffé en cours de fusion car on risque une cristallisation grossière, donc fragile par surchauffe ; c'est pourquoi on lui préfère dans bien des cas le Trimasic, moins cher et d'utilisation plus facile.

L'acier Tostic trouve son application dans la soudure des aciers mi-durs au carbone ou spéciaux à basse teneur en nickel : arbres, vilebrequins, engrenages.

Sa résistance à la corrosion le fait rechercher pour certaines applications spéciales.

ACIER ALTOR.

C'est un acier au chrome, silicium, manganèse qui avait été mis au point pour le rechargement des rails et des croisements de chemins de fer usés.

Sa dureté peut dépasser 300° Brinell.

A l'état fondu il a une résistance de 66 kgs-cm2, mais ne présente pas une grande résistance au choc. On peut l'améliorer sensiblement en le martelant au-dessus du rouge cerise, puis en lui faisant subir un recuit de quelques minutes. Après ces traitements sa résistance atteint 90 Kgs/mm2 et il possède une bonne résistance aux chocs ; ces propriétés le font utiliser pour une quantité de réparations mécaniques : arbres et essieux supportant de gros efforts, dents d'engrenages, dents de pelles, fleurets de mine (impossibles à réparer avec d'autres métaux), pièces d'attelages de charrues en aciers spéciaux. Mais il faut absolument dans ces cas marteler et recuire.

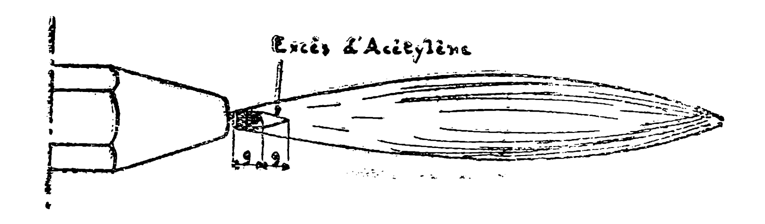
On utilise l'Altor pour les rechargements devant posséder une certaine dureté, ou encore pour les rechargements devant subir une trempe, car l'Altor trempé a une dureté dépassant 600° Brinell.

ACIER ALCHROME.

C'est un acier à 13 % de chrome autotrempant, dont la dureté après fusion au chalumeau atteint 500° Brinell.

Cette dureté élevée ne peut être obtenue que si le dépôt est effectué dans les meilleures conditions.

Il faut en particulier veiller au réglage de la flamme qui doit avoir un excès d'acétylène égal à la longueur du dard.



d'acétylène plus faible rendra le travail malaisé par suite de la formation d'oxyde de chrome, très gênant ; pour éviter la formation de cet oxyde il faut en outre tenir toujours le chalumeau sur le bain de fusion

Un excès plus important donnera des duretés plus faibles. Un excès et conserver toujours l'extrémité de la baguette dans le panache de la flamme.

On a intérêt à marteler le dépôt pour le durcir.

L'acier Alchrome est un métal de prix élevé et cela fait parfois hésiter l'utilisateur. Il ne faut jamais perdre de vue, dans tout travail industriel, que ce qui compte en définitive c'est le bilan économique de l'opération, et que pour établir ce bilan il faut déterminer le coût de cette opération, ainsi que ce qu'elle rapporte.

C'est après avoir fait un pareil bilan que la Direction d'une très importante mine du Sud Tunisien a décidé de recharger à l'Alchrome tous les maillons d'une chaîne qui a 2000 mètres de long et comporte 40.000 maillons, à raison de 2 rechargements par maillon, cela représente 80.000 rechargements. Il a fallu 2 ans à 2 soudeurs pour exécuter ce travail ; 2.500 Kgs d'acier ont été utilisés, mais alors qu'une chaîne ordinaire d'une valeur de 350.000 frs est mise hors d'usage au bout de 3 ans et demi, la chaîne usée et rechargée durera, ainsi que l'ont montré les essais préliminaires, 50 ans environ.

Etablissons le bilan économique (valeurs 1936).

Chaîne ordinaire : 350.000 francs en 3 ans et demi
soit.............. 100.000 frs. par an.

Chaîne rechargée :

	Dépenses
1 chaîne usagée............... ..	0 »
Rechargement	350.000 »
Total.....................	350.000 frs pour 50 ans
soit..............	7.000 frs. par an.

Gain annuel : 100.000 — 7.000 = 93.000 francs.

A première vue, le rechargement de 40.000 maillons pouvait sembler une entreprise chimérique ; le travail a été mené à bien et rapporte **chaque année à la Mine 93.000 francs.**

L'acier Alchrome trouve de nombreuses applications pour le rechargement de très nombreuses pièces d'usure qui peuvent être usinées par simple forgeage ou par moulage. Toutefois son emploi ne doit pas être préconisé pour les pièces travaillant en milieu très abrasif.

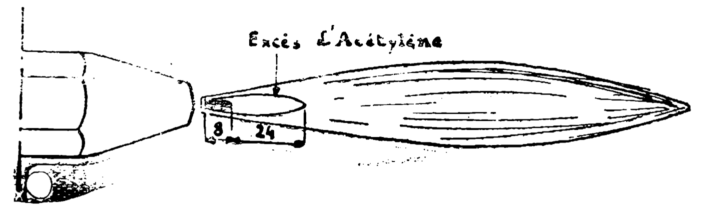
STELLITE.

Le Stellite n'est pas un acier, mais il est utilisé pour le durcissement de pièces en acier et c'est pourquoi ce métal trouve place dans ce chapitre.

Le Stellite est un alliage de chrome, Cobalt et Tungstène dont la dureté peut dépasser 600° Brinell. Les propriétés qui font du Stellite un métal recherché dans l'industrie sont :

— Grande dureté.
— Conservation de cette dureté aux hautes températures (jusqu'à 800°, 1000°).
— Grande résistance à l'abrasion.
— Obtention d'un poli parfait.
— Inattaquibilité à la plupart des agents chimiques.
— Possibilité de dépôt par fusion au chalumeau.

Le Stellite fond à 1250° environ et il doit être déposé facilement sur les parties de pièces en acier qui doivent être protégées contre l'usure. La flamme du chalumeau doit présenter un excès d'acétylène égal à 3 fois la longueur du dard normal.



Pour les travaux délicats il existe une technique particulière dont traitent des notices très complètes consacrées à ce métal.

Ce que nous avons dit sur le bilan économique des rechargements à l'Alchrome est vrai pour le Stellite et il ne faut pas se laisser effrayer par le prix élevé de ce métal.

Nous citerons à titre d'exemple le cas de cette usine de ciments qui utilise des vis sans fin en acier spécial, d'une valeur unitaire de 50.000 francs, et qui, en contact avec les matières abrasives sont hors d'usage au bout de 1 mois et demi.

Un dépôt de 1 kilo de Stellite a porté la durée à 15 mois.

Vis ordinaire : 50.000 frs pendant 1 mois et demi.

Dépense annuelle : $\frac{50.000 \times 12}{1,5}$ = 400.000 frs.

Vis rechargée au Stellite :

	Dépenses
1 vis neuve...........	50.000 »
1 kilo Stellite...........	3.000 »
Gaz et main-d'œuvre.......	2.000 »
	55.000 frs pour 15 mois

soit annuellement : $\frac{55.000 \times 12}{15}$ = 44.000 Frs.

Gain annuel : 400.000 — 44.000 = 356.000 frs. par vis.

Les applications du Stellite sont extrêmement nombreuses : rechargement d'outils de tours, de trépans de forage, d'arbres en contact avec des produits abrasifs ou des produits chimiques, soupapes et sièges de soupapes de moteurs thermiques, socs de charrue, pièces diverses de matériel agricole, dents de batteurs de moissonneuses-batteuses, cames... Le Stellite peut aussi se déposer sur la fonte, le métal Monel et le cuivre rouge.

HAYSTELLITE.

Le Haystellite est un carbure de tungstène dont la dureté approche celle du diamant noir ; il ne peut être fondu au chalumeau, aussi l'emploie-t-on sous forme de grains de différentes grosseurs que l'on agglomère ensemble et que l'on brase sur les pièces à protéger contre l'usure au moyen d'un liant qui est généralement de l'acier Trimasic.

Un mode d'utilisation facile est le « Tube Haystellite » tube d'acier du genre Trimasic, rempli de grains de Haystellite calibrés, le tube en fondant forme le liant.

Ce produit est utilisé pour le revêtement des parties actives des trépans et couronnes de sondage, des socs de charrue, palettes de malaxeurs... Il faut des meules spéciales pour l'usiner. Bien que son prix soit élevé (un peu supérieur à celui du Stellite), son emploi en agriculture

semble devoir prendre un essor rapide ; un soc rechargé au tube Haystellite dure facilement 10 fois plus longtemps qu'un soc ordinaire.

Un soc neuf d'une valeur de 1.500 francs pourra être rebattu 4 fois après quoi, il sera hors d'usage.

Un soc dure donc : 1 + 4 = 5 fois sa durée entre 2 rebattages.

Soc ordinaire : Dépense pour 5 fois =

1 soc neuf....................	1.500 Frs.
4 rebattages à 50 frs............	200 »
	1.700 Frs.

Dépense pour 10 fois =

1.700 × 2 = ...	3.400 Frs.

Soc rechargé :

1 soc neuf....................	1.500 Frs.
Tue Haystellite : 50 grs. à 4000 frs.	200 »
Gaz et main-d'œuvre............	50 »
	1.750 Frs.

Economie : 3.400 — 1.750 = 1.650 frs. par soc.

Cette économie mathématique n'est généralement pas la plus importante ; il y a en effet lieu de considérer que si un soc dure 2 jours entre 2 rebattages, il faudra tous les 2 jours arrêter le matériel, parfois en plein travail, pour charger les socs. Cela constitue une perte de temps importante, qui se traduit par des dépenses parfois très élevées. Avec le revêtement en tube Haystellite, le chargement n'aura plus lieu que tous les **20 jours,** d'où gain appréciable de temps et de dépenses d'entretien.

■

CHAPITRE VIII

SOUDURE DE LA FONTE

La fonte, ou plutôt les fontes, sont des alliages fer-carbone dont la teneur en carbone varie de 2,5 à 6 %.

Ce carbone peut être combiné au fer comme dans les aciers et on a alors des fontes blanches, dures, non usinables ; il peut aussi être libre et on a alors des fontes dites **graphitiques,** grises, douces et usinables.

Certains éléments tels que le silicium et le manganèse sont incorporés aux fontes. Le silicium favorise la formation de fonte douce ; au contraire le Manganèse favorise la combinaison du carbone avec le fer et tend donc à donner des fontes dures.

Propriétés :

Les fontes fondent entre 1050° et 1200°, suivant leur teneur en carbone. Le point de fusion des oxydes étant de 1300° environ, les oxydes resteront solides dans le bain de fusion ; on aura des difficultés pour réaliser la liaison des bords à souder et des risques de collage. Pour éliminer les oxydes il faudra faire une véritable opération métallurgique au moyen d'une poudre décapante. Poudre utilisée : **Hématox.**

Les fontes ne sont pas ductibles ; elles n'ont pas d'allongement et elles seront donc très sensibles aux effets du retrait ; toutes les fois que le retrait ne sera pas libre il faudra craindre des cassures et on devra prendre des précautions très sérieuses.

La chaleur de fusion de la fonte étant supérieure à celle du fer, il faudra des chalumeaux plus puissants que pour la soudure de ce dernier métal ; on prend 150 litres par millimètre d'épaisseur.

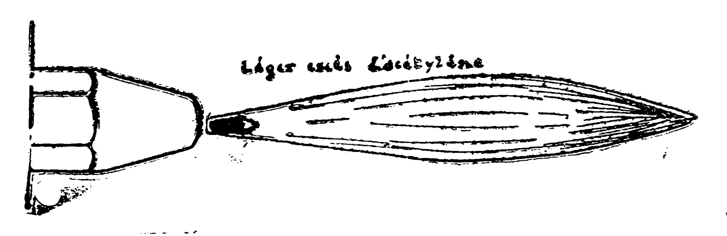
La fonte liquide est très fluide, on ne peut effectuer que des soudures horizontales à plat.

La fonte est parfaitement soudable ; elle est classée avant le fer dans l'échelle de la soudabilité.

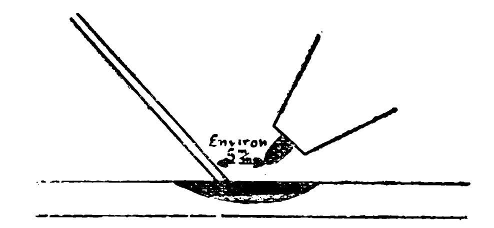
Soudures non usinables — Grains durs :

Bien des soudeurs sont ennuyés, au parachèvement de leur travail, par la présence dans la ligne soudée de plages durcies ou de grains durs attaquables à la meule seulement et ils prétendent qu'il n'est pas possible de faire des soudures de fonte usinables. Il est au contraire relativement aisé de réaliser des soudures parfaitement usinables ; il suffit pour cela :

1°) D'avoir toujours une flamme bien réglée, sans excès d'oxygène. On peut sans risque admettre, même dans la flamme, un très léger excès d'acétylène (on est ainsi certain de ne pas avoir d'oxygène en excès).



2°) De ne jamais mettre le dard en contact avec le métal fondu du bain de fusion ou de la baguette d'apport.



3°) D'utiliser le moins de poudre décapante possible ; on ne doit mettre de poudre décapante que lorsque la liaison du métal d'apport et des bords des pièces devient difficile.

4°) D'utiliser comme fonte d'apport une fonte riche en silicium et de ne pas, sous prétexte d'économie, employer des fontes bon marché, mais de qualité médiocre.

5°) Eviter le refroidissement rapide des pièces soudées, un refroidissement rapide entraînant des phénomènes de trempe, donc de durcissement.

Soufflures :

Les soufflures sont des défauts occasionnés par la présence dans la masse liquide du métal en fusion, de poches gazeuses qui ne peuvent pas s'échapper au moment de la solidification.

On peut les supprimer en formant un bain très liquide que l'on agite avec la baguette d'apport.

Préparation des soudures :

Les pièces doivent généralement être chanfreinées et les abords du chanfrein décapés mécaniquement (meule, burin...). Pour les épaisseurs inférieures à 4 m/m on ne chanfreine pas, mais il est recommandé, pour éviter les effondrements, de supporter la ligne de soudure avec des feuilles de tôles minces (des tôles épaisses provoqueraient un refroidissement trop rapide de la ligne soudée).

Exécution des soudures :

Nous avons déjà dit que le chalumeau devait, sur pièces froides, débiter 150 litres par millimètre d'épaisseur. La ligne à souder est placée horizontalement ou légèrement en demi-montante. La soudure s'exécute de droite à gauche, suivant la méthode classique.

La poudre décapante est apportée par la baguette dont l'extrémité préalablement chauffée est plongée dans la boîte ; on replonge l'extrémité de la baguette dans la poudre décapante, aussi souvent que cela est nécessaire pour obtenir une bonne liaison des bords à souder.

Précautions à prendre contre le retrait :

Nous avons, dans le chapitre « Dilatation et Retrait » donné les règles générales qui doivent être suivies dans l'étude des phénomènes de retrait ; nous allons étudier le cas des pièces en fonte, métal non malléable, sans allongement et fragile à chaud.

Pour les pièces pouvant se dilater librement, un dégourdissage rapide au chalumeau de la zone à souder sera fait avant soudure.

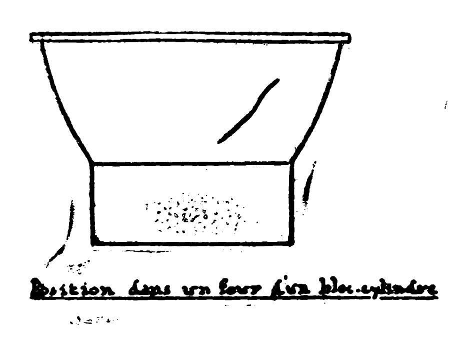
Pour les pièces de forme simple, mais dans lesquelles le retrait n'est pas libre, on pourra chauffer des points convenablement choisis suivant la méthode du chauffage localisé. (Exemple du volant).

Pour les pièces de forme compliquée, ce qui est le cas général, il faudra procéder à un chauffage total.

Le but du chauffage étant d'uniformiser autant que possible la température des divers points d'une pièce, il devra être conduit rationnellement.

Il faut pour cela disposer de fours bien isolés dont les parois seront de préférence en matières réfractaires, à défaut on peut constituer des fours au moyen de 2 enveloppes en tôle, l'espace compris entre les deux enveloppes étant comblé avec des corps mauvais conducteurs de la chaleur (cendre, sable).

Le four doit posséder à sa partie inférieure une ouverture obturable pour le **tirage ;** il doit à sa partie supérieure présenter un platelage permettant la fermeture hermétique au moyen d'un panneau de tôle.



Position dans un four d'un bloc-cylindre

Le combustible sera de préférence le charbon de bois ou le bois. Il faut proscrire la houille et les cokes. Nous avons déjà vu que la position de la pièce dans le four, pendant le chauffage n'était pas indifférente; les parties les plus massives doivent être mises en contact avec le feu ; les cylindres doivent être placés de façon à ce que leur axe soit vertical, sans quoi on risquerait des ovalisations. La pièce étant placée convenablement dans le four, on la laisse chauffer jusqu'au rouge cerise ; on la tourne de façon que la cassure soit horizontale, on recouvre le four avec des tôles

en ne laissant découvert que l'espace nécessaire à l'exécution de la soudure. Celle-ci est conduite comme sur une pièce non chauffée, mais le débit du chalumeau doit être moitié moindre environ.

Le chalumeau comporte généralement une lance rallongée de façon que le soudeur ait la main le plus loin possible du feu et que l'injecteur ne chauffe pas.

Un seau d'eau placé à proximité permettra des refroidissements fréquents du chalumeau.

Le soudeur porte des gants en amiante et un masque facial en cuir, muni de lunettes.

Quand la réparation est terminée, on replace la pièce dans la position où elle se trouvait pendant le chauffage, on attend que tous les points soient à la température du rouge cerise, puis on ferme le four hermétiquement et on laisse refroidir.

La durée de refroidissement dépend de l'isolation du four ; avec des fours et briques réfractaires il faut compter de 36 à 48 heures pour les blocs cylindres de dimensions courantes.

FONTES MALLEABLES

Les fontes malléables sont des fontes ordinaires que l'on a soumises à un traitement thermique en vue de leur conférer une certaine **malléabilité** et une certaine **ténacité.**

On fabrique des pièces en fontes malléables pour des raisons d'économie ; la fonderie de fonte permet en effet d'obtenir des pièces en série à très bas prix ; la **malléabilisation** se fait en série dans des fours et son prix de revient est donc bas. Ainsi une pièce en fonte malléable qui peut remplacer, dans certains cas, une pièce en acier coulé coûtera sensiblement moins cher que cette dernière.

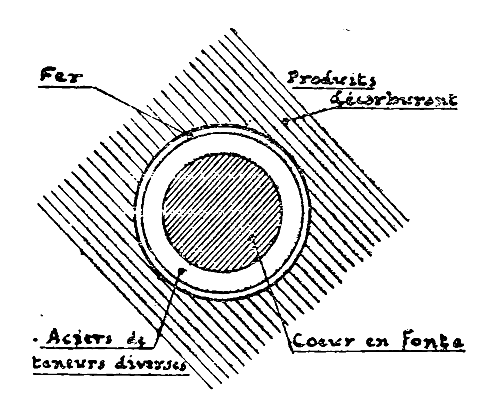
Il existe plusieurs procédés pour la fabrication des fontes malléables. Nous signalerons à titre d'exemple la fonte malléable européenne qui est obtenue par la décarburation superficielle d'une pièce en fonte courante.

Fonte = Fer + Carbone

Si nous enlevons le carbone il ne restera que le fer.

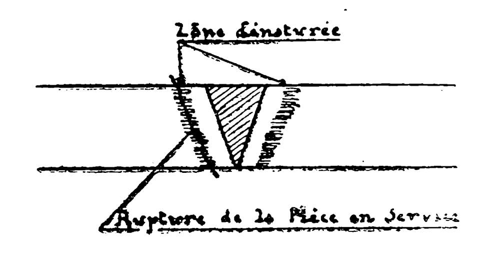
La pièce à malléabiliser est mise dans un four, dans un bain de produits **avides de carbone** donc décarburants (généralement des oxydes). L'ensemble est porté à haute température (au-dessus de 900°). Les produits décarburants absorbent une partie du carbone de la pièce et après un certain temps la couche extérieure de la pièce qui aura perdu son carbone sera du fer. La couche immédiatement suivante contiendra un peu de carbone. Ce sera de l'acier doux ; puis on aura de l'acier dur, de l'acier extra-dur et le cœur sera en fonte.

La malléabilisation est donc une opération inverse de la cémentation, la gaine extérieure en fer et acier doux et mi-dur est très malléable et tenace ; c'est elle qui confère à la fonte ainsi traitée sa malléabilité et sa ténacité.



Peut-on souder les fontes malléables? Malgré l'avis contraire de certains soudeurs, il n'est pas possible de souder les fontes malléables ; en effet, si l'on utilise de la fonte comme métal d'apport, la soudure s'exécutera facilement, mais la partie soudée constituée par de la fonte ordinaire ne sera plus malléable.

On pourrait essayer d'utiliser du fer comme métal d'apport, mais, outre qu'il sera difficile de lier le métal rapporté (qui fond à 1500ï), au métal de base (qui fond à 1200°), la réparation ne présentera aucune résistance par suite de la dénaturation de la fonte malléable.



Dans la partie immédiatement voisine de la soudure, la fonte malléable sera portée à une très haute température (1200° dans les parties en fonte — 1500° dans les parties en fer). La fonte du cœur cèdera un peu de son carbone au fer qui constitue la gaine extérieure et celle-ci se retransformera en fonte ; elle n'aura donc plus de malléabilité et la pièce en service cassera toujours juste au ras de la soudure.

Les réparations de pièces en fonte malléable ne pourront donc être faites par soudure et il faudra utiliser le procédé de soudo-brasure dont nous parlerons au chapitre suivant.

CHAPITRE IX

SOUDO - BRASURE

GENERALITES

La soudo-brasure est un procédé d'assemblage de pièces métalliques de même nature ou de nature différente qui consiste à chauffer les bords à assembler à une température inférieure à leur point de fusion, mais qui permette l'accrochage sur ces bords d'un métal d'apport **résistant** fondant à plus basse température que les pièces à assembler.

Cette définition s'applique aux brasures dont la soudo-brasure se différencie par les points suivants :

1°) Les métaux de brasure sont des alliages très fluides, fondant à basse température, peu résistants et fragiles. Les métaux de soudo-brasure sont des alliages peu fluides, fondant à des températures assez élevées, très résistants et exempts de fragilité.

2°) La préparation des brasures se fait par « recouvrement » tandis que les soudo-brasures se font bout à bout comme des soudures.

3°) Les brasures sont réalisées en une seule fois tout le long de la ligne à braser, au moyen d'une source de chaleur quelconque (forge, lampe à essence...). Les soudo-brasures au contraire sont réalisées comme les soudures, par bains successifs avec le chalumeau oxy-acétylénique.

La soudo-brasure est un procédé beaucoup plus proche de la brasure que de la soudure, mais alors que les brasures ont une résistance mécanique très faible, les soudo-brasures peuvent, dans de nombreux cas, être aussi résistantes que des soudures parfaitement exécutées.

Mécanisme de la soudo-brasure

Les molécules du métal d'apport ne pénètrent pas à l'intérieur du métal de base, entre les molécules de ce dernier ; il y a simplement juxtaposition des molécules du métal de soudo-brasure et du métal de base. Ces molécules exercent les unes sur les autres des attractions identiques à celles qui assurent la compacité de tous les corps solides. Mais pour permettre à ces attractions de se manifester il est nécessaire d'opérer à une température définie qu'on appelle **température de mouillage** ou encore **température d'accrochage**. Cette condition ne suffit pas et il est évident qu'il faut aussi que les molécules de la pièce et celles du métal d'apport puissent se rapprocher à une distance infiniment petite, donc qu'il n'y ait pas interposition de matières étrangères : graisses, oxydes, etc...

Il s'ensuit que la soudo-brasure sera conduite en 2 opérations :

1°) Décapage parfait des bords à assembler.

2°) Chauffage à la température de mouillage de ces bords et fusion simultanée du métal d'apport.

Métaux de soudo-brasure

Les différents métaux de soudo-brasure que l'on trouve dans le commerce sont, soit des laitons, soit des maillechorts. Les plus connus et les plus utilisés, parce que donnant des résultats parfaits du point de vue mécanique sont : le Bronze Tobin et le Bronze au Manganèse.

BRONZE TOBIN — Laiton spécial

— Résistance à la traction : 30-35 Kgs-mm2.
— Allongement % : 16/22 %.
— Point de fusion : 895°.
— Forgeable à partir de : 350°.
— Résistance à l'accrochage sur fonte > 15 K/mm2.
— Résistance à l'accrochage sur acier : 25/30 K/mm2.

BRONZE AU MANGANESE — Laiton spécial

Utilisé particulièrement pour le rechargement des pièces usées.

Poudre décapante :

On utilise en soudo-brasure une poudre décapante qui remplit un double rôle :

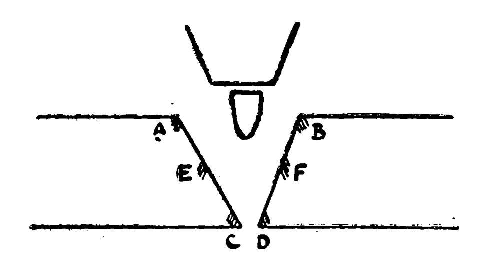
1°) Eliminer les oxydes qui se formant à haute température sur les bords à assembler.

2°) Empêcher la volatilisation du zinc contenu dans les métaux de soudo-brasure.

Actuellement les bronzes Tobin Altem sont enrobés directement avec un produit décapant ce qui facilite l'exécution des soudo-brasures.

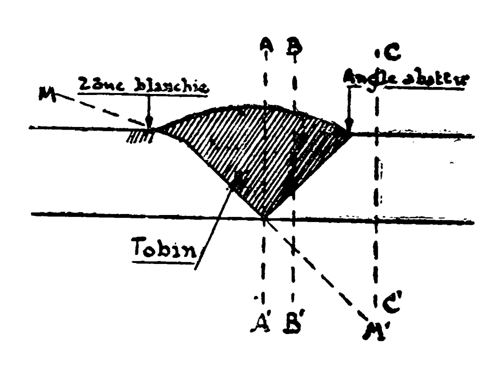
Préparation des pièces :

Pour pouvoir atteindre la partie inférieure des pièces à soudo-braser il faut les chanfreiner, ou encore, sur les pièces très minces, laisser un écartement suffisant entre les bords.



Le chanfrein doit être aussi large que possible, en effet, avec un chanfrein étroit on risque de surchauffer les zones A, B et de ne pas chauffer assez les zones C D. Seules les zones E F étant à la température de mouillage.

De plus, avec un chanfrein largement ouvert, la surface d'accrochage est augmentée, ce qui augmente la résistance du joint soudo-brasé.



Considérons en effet la soudo-brasure ci-contre, exécutée sur pièces en fonte avec du Tobin ordinaire. Si nous soumettons cette pièce à un effort de traction, nous ne pourrons pas avoir rupture dans les sections AA' - BB', parce que la résistance du bronze Tobin est très supérieure à celle de la fonte. Nous pourrons avoir rupture en CC', ce qui prouvera que la soudo-brasure est plus résistante que la pièce elle-même, mais nous pourrons avoir aussi supture en MM' par séparation du bronze Tobin et de la fonte. Nous avons vu que la résistance à l'accrochage était supérieure à 15 Kgs par mm2. Si le chanfrein est ouvert à 90°, la surface d'accrochage sera 1,4 fois plus grande que sur bords droits et la résistance totale de la soudo-brasure sera supérieure à 1,4 × 15 soit 21 Kgs. Pour de l'acier doux on aurait une résistance totale de 30 × 1,4 = 42 Kgs.

Cette dernière valeur donne une résistance supérieure à celle d'un bon acier doux et la pratique a confirmé que lorsque la préparation des soudo-brasures sur acier était bien faite, on arrivait à casser les pièces d'acier soudo-brasées, sans que le bronze Tobin SF se décroche.

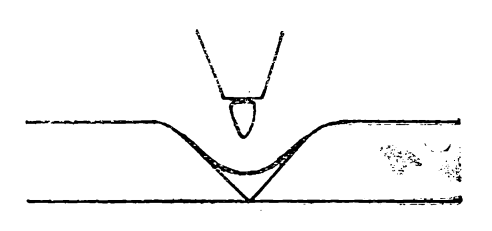
Lorsque les chanfreins sont faits, on abat les angles supérieurs et on blanchit sur quelques millimères de part et d'autre du chanfrein, de manière à ce que les impuretés ne puissent pas souiller les bords à soudo-braser.

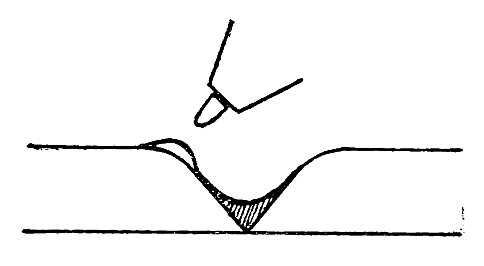
L'exécution des chanfreins se fera de préférence à l'outil (tour, raboteuse, lime, burin) et on évitera autant que possible l'emploi de la meule; la meule ne doit être utilisée qu'à condition de **gratter** ou **limer** les parties meulées.

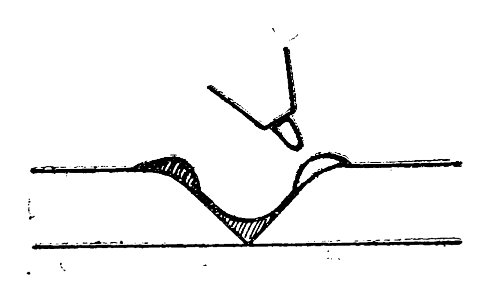
Après préparation il faut éviter soigneusement de souiller les parties préparées ; en particulier il ne faut pas passer sur elles des chiffons ou les doigts ; il ne faut pas non plus les laisser oxyder à l'air.

Exécution des soudo-brasures :

Les pièces ayant été soigneusement préparées, on choisit un chalumeau de débit approprié, suivant la nature de la pièce et son épaisseur (voir les paragraphes suivants).





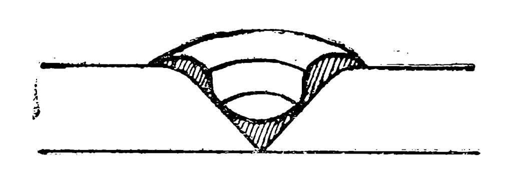


On chauffe l'extrémité de la baguette d'apport et on la plonge dans la poudre décapante. Cette opération devra se renouveler fréquemment pendant l'exécution de la soudo-brasure. On chauffe le fond du chanfrein sur une longueur de 10 à 15 millimètres, jusqu'à la température de mouillage ; on fond alors l'extrémité de la baguette et le métal fondu doit s'étaler parfaitement, c'est-à-dire **mouiller.**

Si la goutte fondue reste en boule c'est que la pièce n'est pas propre, ou encore qu'elle n'est pas à température suffisante ou encore (cas de la fonte) qu'elle est à température trop élevée. Il faudra nettoyer la pièce à nouveau et bien surveiller la température.

Quand on a obtenu le mouillage on procède de la même manière sur une portion de 20 à 30 m/m de longueur, puis on revient

en arrière et l'on mouille une des faces du chanfrein, sur la même longueur. On mouille ensuite l'autre face et l'on obtient ainsi un revêtement complet de soudo-brasure sur une portion qu'il n'y a plus qu'à recharger. Cette dernière opération est très simple. Ce qu'il faut surtout, c'est obtenir un **mouillage parfait** car la résistance en dépendra essentiellement.



On procède ensuite de la même façon, par portions de 20 à 30 millimètres tout le long du joint à soudo-braser.

Ces diverses opérations élémentaires que l'on peut nettement différencier dans le cas de pièces épaisses se trouvent confondues en une seule pour les pièces de faible épaisseur.

Soudo-brasure de la fonte grise :

La température de mouillage sur la fonte est comprise entre 650° et 800°, c'est-à-dire entre le rouge sombre et le rouge cerise. Il faudra veiller à ne pas dépasser cette dernière température et pour cela il faut utiliser un chalumeau de faible débit, soit 30 à 40 litres par millimètre d'épaisseur.

La poudre décapante à utiliser est le « Tobox ».

L'exécution même de la soudo-brasure se fait conformément au paragraphe précédent.

Nous avons déjà vu que la résistance à l'accrochage du bronze Tobin est supérieure à la résistance propre de la fonte ; on peut donc être assuré qu'une pièce de fonte réparée par soudo-brasure au bronze Tobin sera **mécaniquement** plus résistante qu'une pièce neuve. La soudo-brasure devra donc toujours être préconisée sauf dans le cas où la pièce aura à subir des variations brusques, importantes et fréquentes de température (sièges de soupapes de moteurs) ; dans ces cas-là la réparation, toujours possible, ne peut être considérée que comme un pis-aller ou un moyen de dépannage.

Les avantages que procure la soudo-brasure des fontes comparativement à la soudure sont les suivants :

1°) La température à laquelle sont portées les pièces étant beaucoup plus basse que dans la soudure autogène, les dilatations et les retraits seront beaucoup plus faibles, ainsi que les tensions internes qui peuvent en résulter.

2°) Le bronze Tobin étant malléable s'allongera sous l'effet des tensions de retrait, les absorbera en grande partie et ainsi les réduira considérablement.

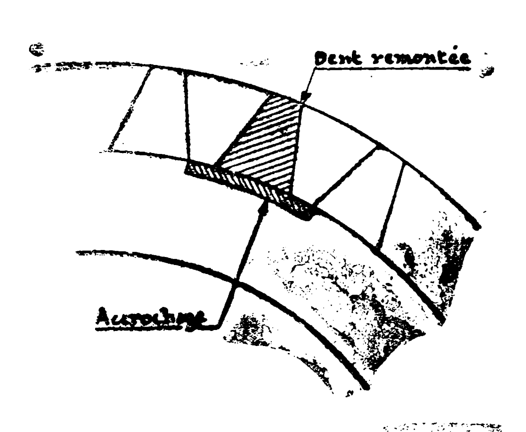
3°) Le métal déposé étant forgeable on pourra supprimer les tensions dans le cordon de soudo-brasure en martelant au-dessous de 350° (température de forgeabilité) et jusqu'au refroidissement.

4°) Il est possible d'exécuter les soudo-brasures dans toutes les positions (à plat, en montant, en corniche, au plafond).

Les caractéristiques précédentes, relatives au retrait permettent d'exécuter de très nombreuses réparations sans chauffage préalable des pièces (fissures dans l'arrondi d'une chemise d'eau de moteur, de culasse. Réparation de bâti de machine de forme simple, de carters, de poulies). Mais il sera bon, lorsqu'on aura à traiter des pièces de forme compliquée, comportant des nervures, des changements brusques de section, des parois planes parfaitement bridées, de préchauffer les pièces vers 300° (plomb fondant). Ce préchauffage à basse température ne risque pas de déformer les pièces et il peut être effectué sur un feu nu, une forge ou encore avec un chalumeau muni d'une buse de chauffe.

Nous ne pouvons pas détailler toutes les applications possibles du bronze Tobin dans les réparations de fonte, mais nous citerons : réparations de chemises de blocs cylindres, de culasses, de carters, de bras de volants, de bâtis de machines, de leviers, de tuyauteries, de cylindres de machines à vapeur, galets, poulies, pompes à eau, etc...

Les dents d'engrenages peuvent être entièrement remontées avec du bronze Tobin ou mieux du bronze au manganèse. Il suffit d'effectuer un accrochage aussi important que possible (voir figure). Une dent remontée dans ces conditions ne peut plus casser parce qu'elle est constituée par un métal élastique très résistant, qui se déformera **élastiquement** sous l'effet d'un choc.



L'expérience a prouvé que de pareilles dents résistaient aussi bien que celles en fonte à l'usure et qu'en réalité les dents rechargées assuraient un plus long service que les autres.

Soudo-brasure de la fonte malléable :

La soudo-brasure de la fonte malléable s'effectue de la même manière que celle des fontes grises.

Le joint obtenu est parfaitement résistant et parfaitement élastique.

En effet, la température à laquelle les parties soudo-brasées ont été portées (750°) est inférieure à la température de transformation de la fonte malléable (950°); celle-ci a donc conservé toutes ses propriétés. Le métal rapporté est lui aussi malléable, très résistant et très élastique, plus résistant et plus élastique que la fonte malléable elle-même ; on peut donc affirmer que la partie réparée présente des caractéristiques mécaniques supérieures aux caractéristiques originelles.

La pratique a confirmé cette affirmation et l'on a constaté que les pièces réparées par soudo-brasure étaient moins sujettes à ruptures que les pièces d'origine.

Soudo-brasure des aciers :

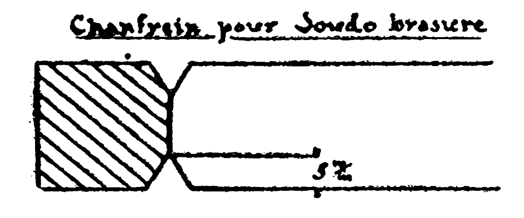
La température de mouillage sur les aciers est moins limitée que sur la fonte ; on peut, sans inconvénient autre que des dilatations exagérées, opérer la soudo-brasure entre 650 et 900°.

Le débit du chalumeau est égal à 50 litres par millimètre d'épaisseur.

La poudre Tobox est toujours utilisée.

Pour les pièces courantes d'acier doux, la soudo-brasure n'offre pas d'intérêt, mais elle rend de nombreux services dans les cas suivants :

Serrurerie et menuiserie métalliques :



L'assemblage par soudure autogène de profilés de faible section (relativement à leur longueur) occasionne des déformations importantes.

Avec la soudo-brasure les déformations sont insignifiantes.

Ci-contre la préparation d'une soudo-brasure pour l'assemblage de 2 fers de 20 millimètres.

Aciers coulés :

Nous avons vu que l'ignorance dans laquelle on est le plus souvent de la soudabilité des aciers coulés a fait préférer, dans les cas courants, la soudo-brasure à la soudure autogène ; nous citerons à titre d'exemples :

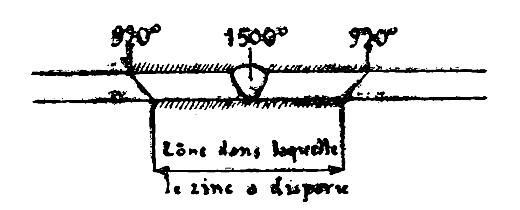
— Cassures de roues de wagonnets ;
— » de tambours de freins ;
— » de trompettes de pont arrière ;
— » de corps de pompe.

Aciers durs :

Alors que la haute température nécessaire pour la soudure dénature les aciers durs, la soudo-brasure ne les dénature pas ; on peut ainsi, grâce à ce procédé, réparer du petit outillage, réunir un câble d'acier dur sur une membrane en acier doux...

Soudo-brasure des tôles galvanisées :

Le zinc fond à 400° environ environ et se volatilise à 900° ; quand on effectue une soudure autogène sur tôles galvanisées, toutes les parties portées en-dessus de 920° perdent leur couche protectrice de zinc. Certains soudeurs tâchent de camoufler la soudure en passant une couche de peinture aluminium, mais cette façon de procéder n'est pas sérieuse.



Puisque les soudo-brasures sur acier s'effectuent à partir de 650°, on pourra réaliser des assemblages sans que le zinc se volatilise et la protection de la couche de zinc restera efficace. Ces assemblages sont d'ailleurs très résistants ; ils peuvent être martelés et emboutis.

La couche de zinc protégeant l'acier, celui-ci est parfaitement propre, il n'y aura donc lieu de décaper par grattage que les **chanfreins** qui auraient été coupés à la cisaille.

Sur les tôles minces on laisse un écartement d'au moins 1 millimètre à partir de 4 m/m de chanfrein.

Applications : Fabrication de réservoirs divers pour les travaux publics, les domaines agricoles, le chauffage central, assemblage des tuyauteries en tubes à gaz galvanisés.

Soudo-brasure du cuivre :

Nous verrons plus loin que certains cuivres sont dénaturés lorsqu'on les porte à une température voisine de leur point de fusion. Ces cuivres sont donc insoudables, mais on peut les assembler par soudo-brasure avec de bons **résultats mécaniques.**

Soudo-brasure des laitons :

Les métaux de soudo-brasure étant des laitons, c'est plutôt une soudure autogène qu'une soudo-brasure qu'on réalise avec le bronze Tobin;

avec ce métal le travail est grandement facilité, ce qui le fait largement utiliser pour toutes les soudures délicates sur pièces en laiton

Soudo-brasure des bronzes :

Nous verrons les raisons pour lesquelles la soudo-brasure a complètement remplacé la soudure autogène des bronzes. Le métal utilisé est le bronze Tobin ou le bronze au Manganèse. La température à atteindre doit être le commencement de la fusion.

Pour les pièces de forme simple il n'y aura pas lieu de s'inquiéter du retrait, mais il faudra prendre des précautions pour les pièces qui pourraient subir des tensions importantes sous les effets du retrait; une bonne précaution consistera à préchauffer la pièce à 350°.

Soudo-brasure des métaux divers :

On peut soudo-braser certains aciers inoxydables, mais les propriétés mécaniques et chimiques du joint sont très différentes de celles du métal de base. Les métaux de soudo-brasure **ne mouillent pas** certains aciers inoxydables.

Le métal Monel peut être soudo-brasé sous les mêmes réserves que les aciers inoxydables.

Les bronzes d'aluminium peuvent être aussi soudo-brasés. La soudo-brasure permet aussi l'assemblage de pièces en métaux différents : fer sur fonte — cuivre sur fonte ou sur acier — Monel sur fer, etc...

On utilise journellement ce procédé pour l'étamage ou le régulage de pièces en fonte.

Par exemple, on peut fixer un tube de plomb sur une canalisation en fonte en déposant une mince couche de bronze Tobin à l'endroit du raccordement ; il sera alors facile de fixer le tuyau de plomb sur le bronze Tobin par soudure à l'étain.

Dans les mines, certains paliers importants de treuils sont en fonte et régulés ; comme il est très difficile de faire adhérer l'antifriction sur la fonte, on tourne la difficulté en déposant sur la fonte une couche de bronze Tobin de 3 à 4 dixièmes de millimètre d'épaisseur ; il est ensuite facile d'étamer, puis de réguler. Les résultats obtenus sont parfaits.

Les métaux de soudo-brasure en rechargement :

La soudo-brasure n'est pas seulement intéressante pour la réparation de pièces cassées ; elle peut aussi rendre de grands services pour le rechargement de pièces usées ou encore pour la protection contre l'usure de pièces neuves.

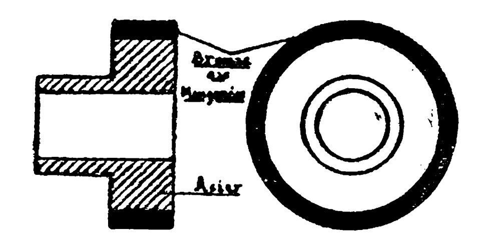
Le métal de soudo-brasure le plus utilisé en rechargement est le bronze au manganèse.

Des rotules de poussée de boîtes de vitesses en acier coulé ont été rechargées après usure avec du bronze au Manganèse ; leur durée après rechargement a été supérieure à celle des rotules neuves.

Des axes de pompe à eau de moteurs de tracteurs agricoles en acier inoxydable qui duraient 6 mois ont eu leur durée portée à 18 mois après rechargement au bronze au manganèse.

Des pinces en acier pour câbles de téléfériques ont eu leur durée multipliée par 1 1/2; après des essais concluants, la mine qui possède ce téléférique a décidé de recharger au bronze au manganèse toutes les pinces en service, au nombre de plusieurs centaines.

Les axes de directrices des aubes de la centrale électrique de Sidi Mashou au Maroc ont été rechargés entièrement au bronze au manganèse; il a fallu 250 Kgs de métal pour l'exécution de ce travail ; les pièces rechargées, en service depuis plus de 2 ans, donnent entière satisfaction.



Enfin, voici des pistons pour pompes à boues utilisées pour le forage des puits de pétrole au Maroc.

Il serait trop onéreux de fabriquer ces pistons en bronze spécial, on les fait donc en acier doux et l'on revêt les parties frottantes de bronze au manganèse sur une épaisseur de 5 millimètres environ.

Nous pourrions multiplier les exemples à l'infini, mais ceux que nous vous avons donnés suffisent pour démontrer que si la soudo-brasure n'est pas un procédé d'assemblage ou de rechargement universel applicable à tous les cas, elle permet dans des cas très nombreux une simplification du travail telle que son domaine d'action s'accroît de jour en jour.

Quelques réparateurs hésitent à l'employer sous prétexte que les métaux de soudo-brasure coûtent plus cher que les métaux de soudure, fer et fonte. Ce qu'il faut considérer ce n'est pas le prix du métal qui n'est qu'un élément du prix de revient, mais il faut étudier le prix de revient lui-même.

Nous pouvons affirmer que dans la plupart des cas une soudo-brasure coûte moins cher qu'une soudure parce que les débits de chalumeau sont beaucoup plus faibles et que les vitesses sont malgré cela plus élevées.

N'oublions pas non plus que la simplification du travail procure un gain de temps appréciable, principalement en ce qui concerne le chauffage et le refroidissement des pièces de forme compliquée.

Nous donnerons à titre documentaire le poids de métaux de soudo-brasure utilisés en Afrique du Nord, région peu industrielle pendant l'année 1946 et qui est de 42 tonnes.

■

CHAPITRE X

SOUDURE AUTOGENE DU CUIVRE ET DE SES ALLIAGES

" SOUDURE DU CUIVRE "

Le cuivre est un métal couramment employé dans les industries chimiques, industries du vin, teintureries, etc...

Propriétés :

— Résistance à la traction : 22 K/mm2

— Allongement : 50 %

Le cuivre perd très rapidement ses propriétés mécaniques à chaud, c'est ainsi qu'à 500° sa résistance tombe à 10 Kg/mm2, de plus sa fragilité à chaud est très grande. Les effets du retrait seront donc à craindre surtout à haute température et il faudra conduire la soudure en conséquence.

— Son point de fusion est : 1080°

— Sa conductibilité thermique est très grande : 6 fois celle du fer.

Cette propriété est une des plus importantes pour le soudeur qui devra choisir le débit du chalumeau, non seulement en fonction de l'épaisseur des pièces à souder, mais aussi et surtout en fonction de leur masse.

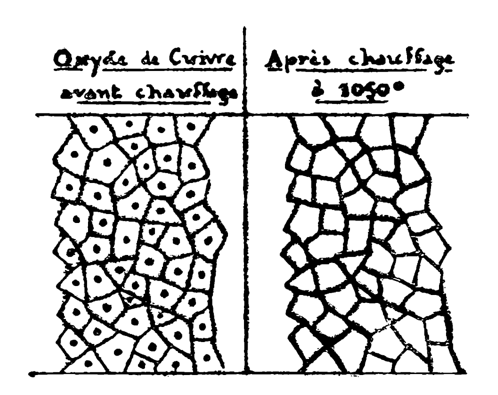
Soudabilité du cuivre :

La soudure autogène du cuivre n'était pas, jusqu'à ces dernières années, aussi utilisée qu'elle aurait dû l'être. Certains insuccès dûs à la mauvaise soudabilité de certains cuivres du commerce en étaient la cause ; en raison de l'inconstance des résultats obtenus dans la soudure du cuivre les constructeurs ont jugé plus prudent de persévérer dans l'application des procédés anciens, rivure et brasure. Cela est d'autant plus regrettable que la soudure autogène présente sur la brasure des avantages très importants :

Les brasures sont de malléabilité faible, ce qui rend difficile le travail de martelage et d'emboutissage.

Les brasures résistent chimiquement beaucoup moins bien que le cuivre lui-même et il est fréquent, dans la teinturerie par exemple, d'être obligé de reprendre toutes les brasures périodiquement alors que la tôle de cuivre est encore parfaitement intacte.

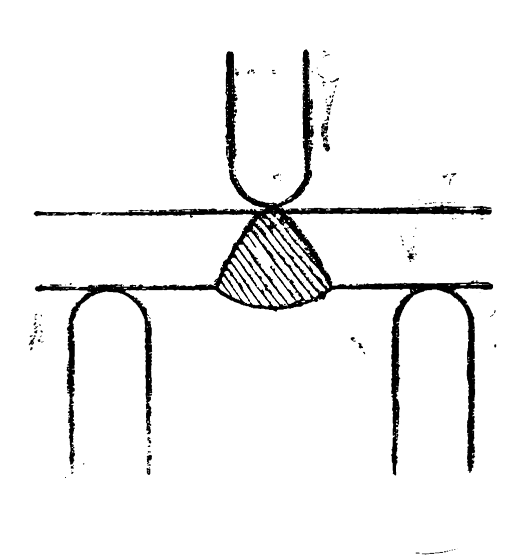
Des études de laboratoire ont montré que le cuivre chimiquement pur possédait une excellente soudabilité, mais que le cuivre qui contenait de l'oxygène en dissolution avait une soudabilité très réduite. Cela est dû à ce que, à la température de 1050°, très voisine du point de fusion, l'oxygène entre en combinaison avec le cuivre pour donner un alliage spécial connu sous le nom d'**oxydule.** Cet oxydule, peu résistant ne serait pas trop gênant s'il était uniformément réparti dans la masse du cuivre; malheureusement il se dispose dans les joints des cristaux, et l'on peut comparer le cuivre oxydulé à un mur de pierres dures qui seraient les cristaux de métal et dont les joints de ciment seraient l'oxydule. La résistance d'un tel mur ne sera pas celle propre aux pierres, mais celle des joints de ciment. On comprend donc aisément que le cuivre oxydulé soit un cuivre sans résistance, qui ne pourra supporter sans rupture un effort mécanique quelconque ; martelage, pliage, emboutissage ou encore déformation en service sous l'effet d'une charge ou d'une pression.

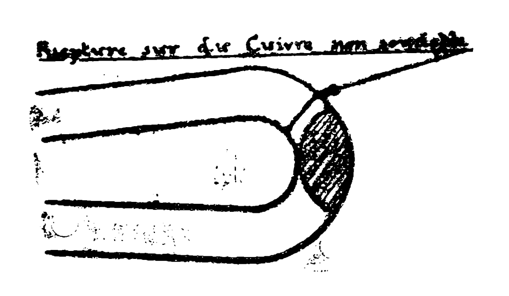


Il y a lieu de remarquer que le métal rapporté est un métal sain si l'on a pris la précaution d'utiliser des baguettes d'apport convenables et si la flamme, normalement réglée a bien joué pendant la fusion son rôle réducteur qui a évité l'oxydation.

En laboratoire on peut étudier la soudabilité du cuivre, mais il existe pour le soudeur un moyen simple pour savoir rapidement et sans matériel compliqué si le cuivre est soudable ou non.

Il suffit d'exécuter une soudure, puis après refroidissement de faire subir à l'éprouvette soudée un essai de pliage; dans cet essai, dont le but n'est pas de déterminer la valeur professionnelle du soudeur, la partie supérieure de la tôle sera placée à l'extérieur du pliage.





Si l'éprouvette casse dans le métal rapporté c'est, ou que le métal d'apport était de mauvaise qualité, ou que la soudure a été mal conduite.

Si l'éprouvette casse juste au ras de la soudure et si les grains de la cassure ont un contexture grossière c'est que le cuivre n'est pas

Cet essai est très important et les soudeurs ne devraient jamais entreprendre de travaux avant d'avoir vérifié que les pièces à souder sont en cuivre soudable.

Dans le cas où il s'agit simplement de faire un cordon d'étanchéité dans des parties ne subissant pas d'efforts mécaniques, on peut souder du cuivre de soudabilité faible.

Actuellement les métallurgistes fournissent soudable.

sur demande du cuivre parfaitement soudable et il y aura lieu de spécifier « Cuivre soudable » dans toutes commandes passées à des fournisseurs.

Préparation des soudures :

Les tôles minces jusqu'à 4 m/m sont préparées bord à bord. Le cuivre fondu étant très fluide il faudra craindre les effondrements des bains de fusion ; on pourra les éviter en supportant la ligne à souder avec, soit :

— une pâte composée de borax et d'eau passée à l'**envers de** la ligne à souder (sous l'action de la chaleur le borax se vitrifie) ;

— soit une plaque de carton d'amiante préalablement séchée ; dans le cas où l'amiante serait humide il y aurait dégagement de vapeur d'eau, d'où risques de soufflures dans la soudure.

Les tôles doivent être chanfreinées au-dessus de 4 millimètres et on aura intérêt à souder en « demi-montante ».

Exécution des soudures

Choix du chalumeau :

Nous avons déjà dit qu'en raison de la très grande conductibilité du cuivre le choix du chalumeau devait être basé sur la masse de la pièce.

Deux éprouvettes de 4 millimètres d'épaisseur et de dimensions 200 × 100 pourront être soudées avec un chalumeau débitant 500 l/heure. Mais une virole en tôle de 4 millimètres, de diamètre égal à 1 mètre et de 1 mètre de longueur ne pourra être soudée qu'avec un chalumeau débitant 1500 litres/heure.

Le soudeur qui jugera trop faible le débit de son chalumeau ne devra pas l'augmenter timidement ; il devra procéder par bonds de débit importants. Un renseignement précieux lui sera d'ailleurs donné par l'aspect du cordon de soudure ; si celui-ci est lisse, brillant, c'est que le débit du chalumeau est suffisant ; si, au contraire le cordon est rocheux, irrégulier, parsemé de petites piqûres superficielles, c'est que le débit du chalumeau est insuffisant.

Pour les pièces épaisses et de grandes dimensions il sera nécessaire de prévoir un chauffage additionnel pour compenser les pertes par conductibilité. Ce chauffage pourra être fait avec un brûleur à gaz, à mazout, ou mieux avec un deuxième chalumeau.

Choix du métal d'apport :

Pour les épaisseurs assez faibles, jusqu'à 4 millimètres, le diamètre de la baguette d'apport sera pris égal **au moins à l'épaisseur à souder.**

Au-dessus de 5 millimètres on pourra adopter la même règle que pour les aciers.

Poudre décapante :

La poudre décapante n'est pas indispensable pour la soudure des cuivres propres. Pour les pièces souillées on peut utiliser le « Copox ».

Méthodes :

On utilisera la soudure « en avant » ou mieux « demi-montante ». La soudure « montante » présente quelques difficultés en raison de la grande fluidité du cuivre fondu, mais la soudure « montante à double cordon B » donne d'excellents résultats sur les épaisseurs courantes ; il y a donc lieu de la préconiser. Les soudures d'angle intérieur sont à prohiber en raison des risques de cassures qu'elles présentent.

Traitement après soudure :

En vue d'améliorer la résistance des soudures, il est recommandé de les marteler.

« SOUDURE DES LAITONS »

Les laitons sont des alliages de cuivre et de zinc qui sont divisés en deux grandes catégories.

1°) Les laitons 1er titre à 67 % de cuivre et 33 % de zinc; ce sont les laitons en planche, ils sont forgeables à froid.

2°) Les laitons 2ème titre à 60 % de cuivre et 40 % de zinc, laitons de décolletage qui sont forgeables à chaud.

Les laitons 1er titre fondent vers 930°.

Les laitons 2ème titre fondent vers 880°.

Les laitons sont moins bons conducteurs de la chaleur que le cuivre et on n'aura pas à tenir compte de la masse de la pièce à souder dans le choix du chalumeau ; on pourra choisir un chalumeau de même débit que celui qui serait utilisé pour la même pièce d'acier.

Lorsque le laiton est en fusion, le zinc qu'il contient se volatilise, ce qui provoque un appauvrissement en se constituant.

On évite cette perte de zinc en utilisant une flamme réglée oxydante telle que

$$\frac{\text{volume oxygène}}{\text{volume acétylène}} = 2{,}5$$

Ce réglage ne doit pas être obtenu en augmentant l'oxygène de la flamme, ce qui la rendrait trop rigide, mais en diminuant l'acétylène de façon à conserver une flamme molle.

Il faut aussi utiliser une poudre décapante spéciale (Copox).

Lorsque la soudure devra être invisible (décoration par exemple), il faudra nécessairement utiliser des baguettes d'apport de même titre que la pièce à souder.

Dans le cas où la coloration de la soudure pourra être différente de celle de la pièce, nous conseillons l'emploi des métaux de soudo-brasure et en particulier du Bronze au Manganèse qui donne des résultats remarquables, avec beaucoup moins de difficultés que si l'on utilisait du

« SOUDURE DES BRONZES »

Les bronzes sont des alliages de cuivre et d'étain qui peuvent contenir aussi des éléments tels que le zinc, le plomb, le manganèse.

Leur point de fusion varie de 800 à 950°.

Ces alliages sont très peu malléables et n'ont aucune ténacité à chaud ; ils seront donc sensibles à l'effet du retrait et il faudra prendre pour les souder des précautions analogues à celles que nous avons énoncées pour la fonte et, en particulier chauffer toute la pièce au rouge ; ce chauffage préalable présente des inconvénients nombreux en raison de la faible ténacité du bronze à chaud; les pièces risquent de s'effondrer et il faut les supporter au moyen de « mannequins » en acier (c'est en particulier le cas des cloches).

Le chauffage préalable peut aussi réduire l'importance des soufflures qu'il n'est jamais possible d'éliminer complètement dans la soudure des bronzes. Ces soufflures peuvent nuire à l'étanchéité de la pièce réparée ou rechargée (robinetterie, valves, clapets) ou encore changer la tonalité d'une cloche réparée par soudure.

Pour ces diverses raisons la soudure autogène des bronzes a été pratiquement abandonnée, et à l'heure actuelle tous les travaux de réparation, qu'il s'agisse de reprises de fissures, de cassures ou de rechargements sont effectués par soudo-brasure.

La soudo-brasure permet de souder bien des pièces sans chauffage préalable et lorsqu'un chauffage est nécessaire (cloches) il n'est pas poussé au-delà de 350°. A cette température les bronzes sont encore tenaces et il n'est pas nécessaire de les soutenir au moyen de mannequins. De plus les cordons de soudo-brasure sont parfaitement sains, sans piqûres ni soufflures.

De nombreuses réparations effectuées sur des cloches de dimensions parfois considérables ont montré que la tonalité originale ne subissait

Bronzes d'aluminium :

Les bronzes d'aluminium qui contiennent environ 10 % d'aluminium sont parfaitement soudables, mais il faut utiliser une poudre décapante spéciale.

A défaut de soudure on peut réaliser des soudo-brasures avec les métaux d'apport de soudo-brasure courante.

CHAPITRE XI

SOUDURE AUTOGENE DE L'ALUMINIUM ET DE SES ALLIAGES

« SOUDURE DE L'ALUMINIUM »

L'aluminium est un métal léger qui résiste bien à l'action de certains produits chimiques et qui est employé dans certaines industries chimiques, ainsi que dans des fabrications où l'allègement est recherché.

Propriétés :

— Résistance à la traction (à l'état laminé)........ 20 K/mm2
— Allongement .... 20 %
— Point de fusion............................ 657°
— Point de fusion des oxydes.................. 2200°
— Conductibilité thermique .... 2/3 de celle du cuivre.

Soudabilité de l'aluminium :

Au début de la soudure autogène l'aluminium était considéré comme pratiquement insoudable en raison de la présence d'oxyde d'alumin ou **alumine** qu'il était impossible de fondre et de faire disparaître.

Actuellement, grâce à l'emploi de produits décapants appropriés, l'aluminium se soude très bien et il est même considéré comme un des métaux ayant la meilleure soudabilité.

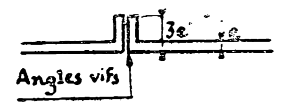
La poudre Harakiri est un décapant très actif mais très hygroscopique. Elle doit être conservée à l'abri de l'humidité.

Pour faciliter le travail du soudeur, on a mis au point des baguettes d'aluminium spécialement enrobé avec des produits peu sensibles à l'humidité et qui jouent le même rôle décapant que la poudre Harakiri; on peut ainsi faire un travail continu, sans arrêt.

Préparation des soudures :

Les soudures ne seront faciles à exécuter que si elles ont été préparées avec le plus grand soin.

Pour les tôles jusqu'à 1 m/m 5 on a intérêt à souder sur bords relevés, le bord doit former avec la tôle 2 angles très nets à arêtes vives.



La hauteur du bord est de 3 fois l'épaisseur des tôles.

Pour les tôles de 1,5 à 4 m/m la préparation se fait à bords droits.

On chanfreine au-dessus de 4 millimètres.

Il est recommandé de frotter à vif les bords à assembler, à l'envers comme à l'endroit.

On soudera toujours bord à bord, jamais par recouvrement.

Exécution des soudures :

Dans le choix du chalumeau on devra tenir compte, comme pour le cuivre, mais à un degré moindre, de la masse de la pièce ; pour les pièces de petites dimensions on prendra 75 litres par millimètre d'épaisseur. Le diamètre de la baguette d'apport sera supérieur à l'épaisseur des tôles. Le chalumeau doit être tenu très incliné vers l'avant ; il n'y a pas à lui imprimer de mouvements latéraux.

Dès que la fusion est obtenue, ce qui est parfois assez long, il faut aller très vite pour ne pas faire de trous qui sont difficiles à boucher.

Les soudures sur aluminium doivent être parfaitement traversées, non seulement pour des raisons de résistance, mais aussi de façon à être certain qu'il n'y aura pas de produit décapant emprisonné dans une amorce de cassure.

Les produits décapants renferment en effet des chlorures et des fluorures qui attaquent l'aluminium.

Pour cette même raison il faudra **laver et brosser les soudures** à l'envers comme à l'endroit de façon à les débarrasser des produits décapants qui pourraient avoir été utilisés en excès.

Applications :

Les applications de la soudure de l'aluminium pur sont assez restreintes ; citons : récipients pour certains produits alimentaires, récipients pour acide nitrique, récipients pour essences...

« SOUDURE DES ALLIAGES D'ALUMINIUM »

Les alliages d'aluminium sont de plus en plus utilisés, soit en remplacement de l'aluminium lui-même, soit en remplacement de certains aciers; les plus connus sont : le Duralumin, le Duralinox, l'Alpax et les alliages carters.

DURALUMIN

Le Duralumin est un alliage aluminium-cuivre-magnésium, d'une densité voisine de celle de l'aluminium pur.

A l'état normal sa résistance à la traction est de l'ordre de 22 Kgs/mm2. Mais on peut s'élever jusqu'à 45 Kgs/mm2 (supérieure à l'acier doux) par un traitement mécanique (corroyage) suivi d'une trempe. Lorsqu'on soude le Duralumin, toutes les parties portées au-dessus de 520° sont dénaturées et il faut, pour régénérer le métal, lui faire subir à nouveau un corroyage et une trempe.

Ces traitements sont d'application difficile et pratiquement impossibles dans les cas courants.

Si la soudure na pas à résister à des efforts importants, comme c'est le cas dans la réparation d'une fissure de réservoir, la soudure peut être exécutée. Dans tous les autres cas il faut s'abstenir.

Il y a lieu d'ailleurs de remarquer que certains mécaniciens appellent « Duralumin » bien des alliages d'alumin qui peuvent être du Duralinox, de l'Alumag, etc.., et qu'en réalité le duralumin n'est pas très répandu dans la mécanique courante.

DURALINOX

Alliage d'aluminium et magnésium dont la résistance à la traction est de 32 Kgs/mm2. Cette valeur est inférieure à celle obtenue avec le Duralumin, mais elle n'est pas la conséquence de traitements thermiques.

La soudure du Duralinox est donc possible, sans diminution notable des caractéristiques mécaniques.

Le Duralinox est destiné à remplacer le Duralumin dans un grand nombre d'applications industrielles.

Utiliser comme métal d'apport une bandelette tirée de la tôle à souder.

Employer la poudre décapante « Harakiri ».

ALPAX

Alliage d'aluminium-silicium à haute teneur en silicium, se présentant sous forme roulée ; en particulier on peut trouver des pistons en Alpax ou métaux analogues.

La soudure de l'Alpax ne présente aucune difficulté si l'on utilise le métal d'apport « Odal » et la poudre « Harakiri ».

ALLIAGES CARTERS

On désigne sous le nom d'alliages carters des alliages qui ont des compositions et des caractéristiques mécaniques très différentes. Ils sont utilisés pour la fabrication des carters.

Ils contiennent toujours de l'aluminium, du cuivre et du zinc. Ceux qui contiennent un pourcentage élevé de zinc ont des propriétés mécaniques faibles et sont poreux.

Leur ductibilité est presque nulle; ils sont fragiles et sujets à cassure comme la fonte sous l'action de faibles tensions internes.

Préparation des soudures :

Les pièces en alliages carters sont généralement souillées par des huiles ou des graisses ; avant toute chose il faut donc les dégraisser. Il faut nettoyer le métal en profondeur car les corps gras ont pénétré dans la cassure et ont cheminé de part et d'autre dans la masse, à travers les porosités.

Un dégraissage à l'essence ne suffit donc pas, car il n'est que superficiel. Il faut décaper en plongeant le carter dans une lessive bouillante de soude ou de potasse caustique. Cette opération est à surveiller car ces produits attaquent l'aluminium.

On rincera ensuite à l'eau, puis on percera s'il y a lieu des trous d'arrêt aux extrémités des cassures et on chanfreinera les bords à souder.

Dans certains cas il faudra prévoir un « montage » dont le rôle sera de conserver pendant la soudure un alignement rigoureux des pièces, mais on devra veiller à ce que ce montage ne bride pas les pièces et leur laisse la possibilité de coulisser. Avec un montage trop rigide, on risquera des cassures au refroidissement.

Préchauffage :

Les précautions à prendre seront analogues à celles déjà vues pour la fonte ; le soudeur devra surveiller de très près l'opération de chauffage préalable qui sera faite dans un four chauffant modérément ; il ne faudra pas dépasser la température de 400-450° car, au-delà, on risque de voir la pièce s'effondrer. Ce contrôle de la température convenable n'est pas très commode ; on peut tracer des traits au savon de Marseille; quand le savon se carbonise on est à la température convenable.

Exécution des soudures :

Les soudures ne seront pas exécutées dans le four car on risquerait de dépasser dans la masse la température de 450° ; on la sortira donc du four et on la placera sur un support (marbre - axe...) de façon à ce qu'il n'y ait pas à craindre de gauchissement dû au manque de ténacité à chaud.

Si la réparation est de longue durée on pourra être conduit à interrompre l'opération de soudure pour réchauffer la pièce dans le four.

La soudure elle-même s'exécute sans difficultés spéciales, avec des baguettes d'alliage-carter et de la poudre Harakiri ; celle-ci ne doit pas être utilisée en excès, car une fois fondue elle risquerait de cheminer à travers les porosités, d'où on ne pourrait plus l'extraire par lavage.

Après soudure, la pièce est recuite dans le four puis mise à refroidir lentement.

Après refroidissement total, lavage à l'eau tiède.

Soudo-brasure des alliages d'aluminium ODAL :

La soudure des alliages carters suivant le processus que nous venons d'exposer est très délicate ; elle demande un personnel bien dressé et très attentif. On a songé à opérer pour les alliages carters comme on opère avec les métaux de soudo-brasure pour la fonte.

Le métal qui a été mis au point pour cela, l'ODAL, permet de faire des réparations qui s'apparentent beaucoup plus à la soudure qu'à la soudo-brasure et l'on dit, avec peut-être plus de raison : soudure à l'Odal que soudo-brasure à l'Odal.

L'Odal est en effet un alliage qui contient plus de 80 % d'aluminium.

— Résistance à la traction 23 Kgs/mm2.

— Point de fusion inférieur à 600° (aluminium 657).

Le retrait est sensiblement nul, ce qui permet de combattre les effets du retrait au refroidissement.

Très malléable.

On peut, grâce à l'Odal, réparer sans chauffage préalable de nombreuses pièces en alliage carters. Dans les cas très difficiles, il suffit de dégourdir la pièce à 100-150° pour pouvoir opérer sans aucun risque.

La soudure est d'une très grande facilité, avec pénétration parfaite ; la facilité et les résultats obtenus sont supérieurs à ceux de la soudo-brasure ou Bronze Tobin sur la fonte.

Actuellement d'ailleurs les baguettes d'apport en alliages carters ont été complètement abandonnées en Afrique du Nord. L'Odal seul est utilisé.

Autres alliages d'aluminium :

On trouve dans le commerce un grand nombre d'alliages dont le nom commence ou finit par la consonnance AL et qui sont des alliages d'aluminium contenant du cuivre, du manganèse, du magnésium, du silicium...

Un certain nombre de ces alliages sont utilisés dans la décoration ; ils sont tous soudables et l'on réussit parfaitement les soudures en utilisant l'Odal qui prend, dans tous les cas, une coloration à peu près identique à celle des métaux à souder. On doit donc préconiser son emploi.

Dans certains cas on peut aussi tirer des bandelettes dans les tôles à souder.

■

CHAPITRE XII

SOUDURE AUTOGENE DU PLOMB

La soudure autogène du plomb remonte à la plus haute antiquité; les anciens pouvaient facilement fondre le plomb à l'aide de chalumeaux à air soufflé à la bouche, puisque sa température de fusion n'est que de 325°.

Pendant longtemps la soudure a été faite au chalumeau oxyhydrique, mais le procédé oxy-acétylénique s'est imposé ces dernières années grâce à sa plus grande facilité.

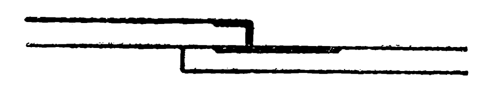
Des soudeurs ont eu de mauvais résultats dans la soudure du plomb parce que l'acétylène qu'ils utilisaient contenait des impuretés. L'Acétylène provenant d'un générateur ne peut pas être utilisé pour la soudure du plomb, aussi bien épuré soit-il. Il est **indispensable d'employer l'acétylène dissous.**

Préparation des soudures :

Le plomb s'oxyde rapidement et l'oxyde est moins fusible que le plomb. Pour l'éliminer on gratte à vif les bords à assembler, juste au

moment de la soudure. Pour la même raison il faut couler les baguettes de métal d'apport juste avant leur utilisation.

Les tôles de plomb jusqu'à 5 ou 6 millimètres ne se soudent pas bord à bord, mais par recouvrement ; la largeur du recouvrement est à peu près de 30 millimètres. On ne soude que d'un seul côté, sur l'arête du bord dépassant.



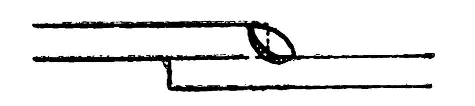
▬ Parties décapées par grattage

Pour les épaisseurs à partir de 6 m/m on soude bout à bout sur bords chanfreinés.

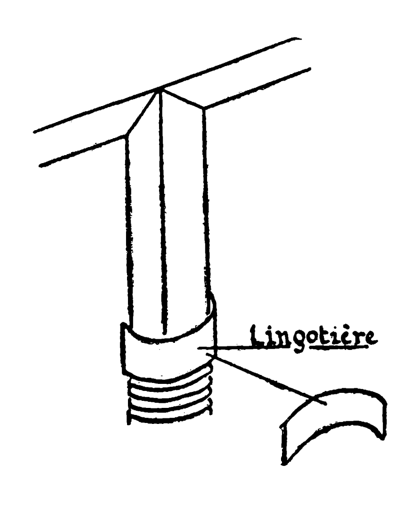
Exécution des soudures :

Soudure à plat :

Pour des épaisseurs de 4 millimètres, employer une buse de 50 litres. Le chalumeau est tenu à 45° sans faire aucun mouvement. On fait une première passe sans métal d'apport, puis une deuxième passe avec métal d'apport, le chalumeau étant relevé à chaque dépôt pour laisser solidifier la goutte. Parfois une troisième passe est nécessaire.



Soudure montante :



Ces soudures sont à employer pour les revêtements de bacs ou chambres de plomb. La puissance du chalumeau est de 15 litres pour de la tôle de 3 m/m, 25 litres pour de la tôle de 4 et 5 m/m. On ne soude pas en montant directement au-dessus de 5 m/m. Jusqu'à 5 m/m les tôles sont préparées avec recouvrement. Les bords doivent être soigneusement appliqués l'un contre l'autre. On soutient la première

goutte avec une spatu- le en fer, cette goutte sert ensuite d'appui aux suivantes. Sur les tôles à partir de 6 m/m on fait la soudure dite à la lingotière : les tôles sont chanfreinées et on moule du métal rapporté dans une lingotière.

Soudure en godets :



La soudure en godets se fait horizontalement dans un plan vertical. Les tôles sont placées par recouvrement, la tôle recouvrante vers le bas est légèrement croquée. On forme la première goutte avec une spatule en fer.

Cette soudure est très facile à exécuter.

Soudure au plafond :

Rarement utilisée, cette soudure faite sur bords relevés est moins difficile qu'elle ne paraît à priori.

Plombage autogène :

En vue d'assurer une protection parfaite des parois de certains récipients devant contenir des acides, on opère parfois un revêtement en brasant du plomb sur de l'acier doux.

Le dépôt se fait **à plat** par chenilles juxtaposées après décapage des parois au moyen d'acide chlorhydrique dilué et de chlorure d'ammonium.

On peut déposer le plomb directement et il faut alors chauffer la tôle vers 700°.

On peut aussi faire un étamage préalable à la brasure d'étain ordinaire et il suffit alors de chauffer à 350°.

Le prix de revient est sensiblement le même dans les deux cas.

SOUDURE DE DIFFERENTS METAUX ET ALLIAGES

Nous dirons enfin qu'on peut, moyennant l'emploi de méthodes appropriées, souder à peu près tous les métaux.

Citons :

— Le nickel
— Les maillechorts
— Le métal Monel
— Le zinc
— L'étain

— Le platine
— L'or
— L'argent
que nous n'étudierons pas, parce que d'emploi peu courant.

■

CHAPITRE XIII

LA SOUDURE A L'ARC ELECTRIQUE

Nous avons vu au début de ce cours que la soudure au chalumeau oxy-acétylénique ne constituait pas toute la soudure autogène et qu'en particulier on pouvait exécuter la soudure autogène par fusion en utilisant la chaleur fournie par l'électricité.

La soudure électrique se divise en 2 catégories :

1°) La soudure électrique par résistance ;

2°) La soudure électrique à l'arc.

Le premier procédé est basé sur le phénomène bien connu de l'échauffement d'un conducteur parcouru par un courant électrique; cet échauffement est d'autant plus important que l'intensité du courant est plus élevée ; si cette intensité est très grande on peut obtenir la fusion du conducteur (dans une installation électrique, les fusibles fondent dès que l'intensité dépasse une certaine valeur).

On comprend facilement que pour assembler des pièces de section assez importante il faudra des intensités très élevées, donc des machines très puissantes coûtant très cher. C'est pour cette raison que la soudure par résistance électrique n'est utilisée que pour les fabrications de grande série ; généralement même on étudie une machine spéciale pour chaque problème. En Afrique du Nord, région peu industrielle et de petite fabrication, la soudure électrique par résistance est à peu près inconnue.

Le deuxième procédé utilise la chaleur fournie par l'arc électrique.

Vous avez remarqué, lorsque vous tournez un commutateur ou débranchez un interrupteur, qu'au moment de la rupture du contact il se produit une étincelle qui est très chaude puisqu'elle peut fondre les couteaux et les contacts de ces appareils.

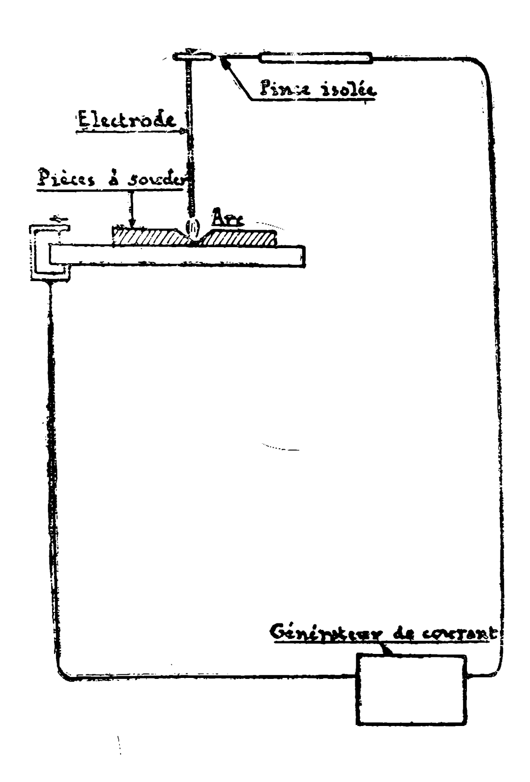
Quand le phénomène est fugitif, on le désigne sous le nom d'étincelle; si au contraire il dure, l'étincelle prend un volume beaucoup plus important et l'on a un arc électrique.

L'arc électrique est très chaud ; il dépasse la température de 4000°, on pourra donc l'utiliser pour fondre les métaux que l'on doit souder.

Le principe de la soudure à l'arc est le suivant :

— La pièce à souder est reliée par un câble électrique à une source de courant.

L'opérateur tient dans la main, au moyen d'une pince isolée, une baguette que l'on appelle électrode et qui est reliée elle aussi à la source de courant.



Il met en contact l'électrode et la pièce ; à ce moment le courant passe. L'opérateur sépare l'électrode de la pièce, mais la maintient à une faible distance; il se produit une étincelle qui peut se transformer en arc si le courant et l'électrode sont convenablement étudiés.

Le courant peut être continu ou alternatif, il doit avoir une certaine tension (45 volts en continu, 60 en alternatif) ; il doit avoir une intensité proportionnée au diamètre de l'électrode. Celle-ci peut être en charbon, ou métallique.

On peut dire que les électrodes métalliques sont à peu près les seules employées.

Lorsque l'arc est établi la pièce entre en fusion au point d'impact de l'arc; nous pouvons donc réaliser la première condition de la soudure autogène : Fusion des bords à assembler sur toute leur épaisseur.

Mais l'extrémité de l'électrode métallique qui est en contact avec l'arc va fondre elle aussi ; si le métal de l'électrode est le même que le métal de la pièce, les gouttelettes en fusion provenant de l'électrode vont tomber sur le métal en fusion de la pièce ; elles se lieront à lui intimement

et nous aurons ainsi réalisé le second stade de la soudure : apport de métal.

Les électrodes métalliques ne sont pas constituées par de simples baguettes de fer ou d'acier ; elles sont composées d'une baguette ou âme en fil d'acier, enrobé au moyen de produits chimiques spéciaux.

L'enrobage facilite l'amorçage de l'arc.

Il permet de donner au cordon de métal déposé la forme désirée.

Il facilite la soudure dans toutes les positions.

Il améliore la qualité du métal déposé.

Actuellement seules les électrodes enrobées sont utilisées.

Le matériel qui comporte un appareil générateur de courant continu ou alternatif, des câbles et une pince est peu coûteux, ce qui explique la très grande diffusion donnée à ce procédé.

La soudure électrique à l'arc permet de localiser la chaleur, donc réduit les phénomènes de dilatation et de retrait et leurs conséquences, les déformations. Par contre les tensions internes sont généralement plus élevées qu'avec le chalumeau.

La localisation de la chaleur peut même entraîner, pour des pièces massives, des phénomènes de trempe, avec fissurations intercristallines qui entraînent les ruptures sous l'effet d'efforts alternés (efforts de fatigue). Nous avons enregistré de nombreux incidents dûs à cette cause et en particulier des ruptures franches d'essieux de locomotives, arbres de cylindres de routes, vilebrequins, arbres divers...

Il y aura donc lieu d'être prudent dans les travaux de rechargement des pièces massives en aciers de nuances susceptibles de prendre la trempe.

La soudure à l'arc électrique est spécialement intéressante pour les travaux de charpente métallique, serrurerie, carrosserie (ossature), ainsi que pour le rechargement de pièces importantes ne présentant pas les risques exposés ci-dessus.

La soudure oxy-acétylénique conserve sa supériorité pour la tôlerie, la chaudronnerie (grâce aux soudures montantes à double cordon), les rechargements importants à effectuer sur des pièces de masse moyenne ou faible.

Enfin, la soudure oxy-acétylénique est universelle ; elle permet la soudure de tous les métaux industriels, tandis que la soudure à l'arc ne permet en l'état actuel de la technique que la soudure courante des fers et aciers.

Cela montre bien que les procédés électrique et oxy-acétylénique, loin de se combattre, doivent se compléter ; il appartiendra aux personnes compétentes des ateliers de déterminer dans chaque cas quel est de ces deux procédés celui qui sera le meilleur du point de vue résistance et du point de vue prix de revient.

CHAPITRE XIV

L'OXY-COUPAGE

Pour terminer ce cours nous dirons quelques mots de l'oxy-coupage avec lequel les soudeurs doivent tous être familiarisés. Ce procédé de coupe nécessite en effet un matériel analogue à celui des postes de soudure oxy-acétylénique et le soudeur aura journellement à l'utiliser.

Mécanisme de l'oxy-coupage :

Quand nous avons étudié les propriétés de l'oxygène, nous avons dit que ce gaz se combinait avec tous les autres corps, soit lentement sous forme d'oxydation, soit violemment sous forme de combustion.

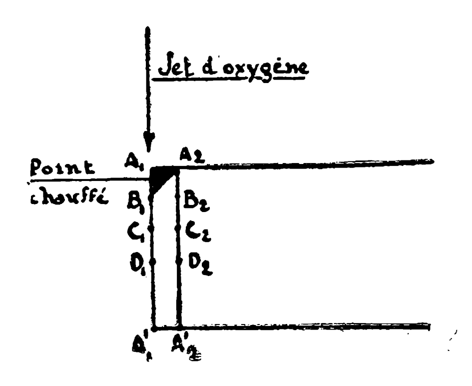
Le fer, comme tous les métaux, s'oxyde à l'air libre, mais il est de plus susceptible de brûler à la façon des corps combustibles que nous connaissons bien. Le papier, le bois, le charbon, l'essence brûlent mais leur combustion s'annonce avec plus ou moins de facilité. Le fer brûle simplement avec plus de difficulté que le charbon ou le bois et sa combustion ne peut être obtenue que sous deux conditions :

1°) Le porter à très haute température : 1300° environ ;

2°) Le mettre à ce moment en contact avec de l'oxygène pur ou à peu près pur.

Pour s'en convaincre il suffit de renouveler une expérience célèbre réalisée au XVIIIème siècle par le Chimiste Lavoisier : chauffons au blanc l'extrémité d'un fil de fer et plongeons-la dans un ballon de verre contenant de l'oxygène ; le fil brûle rapidement en dégageant une grosse quantité de chaleur. Le fer se transforme en oxyde qui tombe sous forme de gouttes liquides.

Essayons de réaliser la même expérience avec un fil de fonte, de cuivre, d'aluminium, nous n'arriverons à aucun résultat, seuls le fer et les aciers courants peuvent brûler dans l'oxygène pur et ils peuvent seuls être coupés par oxy-coupage.



Soit une tôle de fer à couper (voir figure) à l'aide d'une source de chaleur quelconque. Chauffons l'arête supérieure au point A1 jusqu'à la température de 1300° que l'on appelle **température d'amorçage** de la coupe. Dirigeons alors un jet

d'oxygène pur sur le point A1 et parallèlement au champ de la tôle.

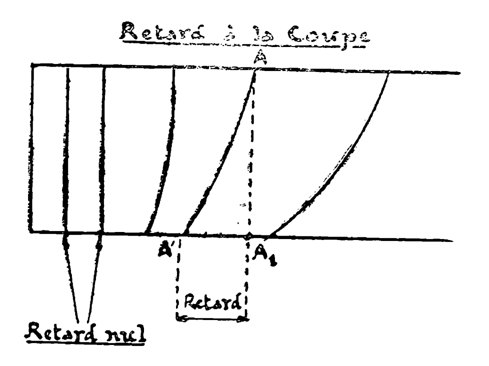
Le métal qui se trouve au point A entrera en combustion; la chaleur dégagée par cette combustion se dispersera dans tous les sens et chauffera donc les points voisins. L'oxyde produit par la combustion et qui est sous forme liquide s'écoulera vers le bas. Le point B, chauffé par la chaleur dispersée et par l'oxyde sera porté à la température de 1300° et il entrera donc à son tour en combustion ; il en sera de même pour tous les points de la ligne A1 A1'.

La chaleur dégagée par la combustion ne chauffe pas que les points de la ligne A1, B1, C1, D1, A1', mais elle chauffe aussi les points voisins A2, B2, C2 qui seront portés à la température d'amorçage si nous déplaçons le jet d'oxygène parallèlement à lui-même de A1 en A2, les points A2, B2 vont à leur tour entrer en combustion et l'on comprend aisément qu'il suffira de déplacer le jet d'oxygène à la vitesse convenable pour obtenir une coupe continue. Dans les coupes à la scie, la lame se déplace à une certaine vitesse et le métal de la saignée est éliminé sous forme de copeaux. Dans l'oxy-coupage, le jet d'oxygène qui remplace la lame de la scie se déplace également à une certaine vitesse et le métal de la saignée est éliminé sous forme d'oxyde.

En réalité les pertes de chaleur dans la pièce et dans l'air sont telles que la chaleur dégagée par la combustion du fer n'est pas suffisante pour porter à température convenable les points successifs sur lesquels l'oxygène agit ; on est dans l'obligation de conserver pendant toute la durée de la coupe une flamme de chauffe, celle-là même qui a servi à faire l'amorce au paint A.

Retard à la coupe :

Quand on déplace le jet d'oxygène de coupe à vitesse réduite on constate que les stries qui matérialisent la trajectoire de l'oxygène de coupe sont des droites parallèles qui prolongent le jet d'oxygène dans ses différentes positions.



Si l'on augmente la vitesse, on constate que les stries s'incurvent et qu'elles s'incurvent d'autant plus que la vitesse est plus grande. On obtient par exemple des courbes telles que A A'. La distance A1 A' est appelée le **retard à la**

coupe. Ce retard est dû à ce que, à tous les instants, le point A1 est à température plus basse que la température d'amorçage ; c'est le point A' qui est à la température d'amorçage au moment où le point A y est lui-même. On le comprend en se rappelant que le point A reçoit directement la chaleur de la flamme de chauffe, alors que le point A1 ne reçoit que la chaleur dispersée dans la masse de la pièce.

Sur les tôles de faible épaisseur, de même que dans les coupes suivant un tracé rectiligne de tôles épaisses, le retard à la coupe ne présente aucune gêne ; il indique que l'on opère à une vitesse économique.

Par contre le retard est gênant pour les coupes sur tôles moyennes et épaisses suivant des tracés comportant des angles ou des courbes. La courbe décrite par ce point A' n'est pas la même que celle décrite par le point A, la pièce est déformée. Cela est à rapprocher des chemins suivis par les deux roues d'une bicyclette : en ligne droite les deux roues suivent le même tracé ; en ligne courbe la roue arrière ne suit pas le même tracé que la roue avant.

Matériel d'oxy-coupage :

Un poste d'oxy-coupage comprend :

— 1 source de gaz combustible (acétylène, hydrogène...)

— 1 source de gaz comburant (Oxygène)

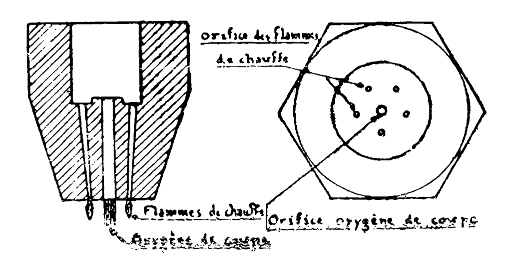
— 1 chalumeau coupeur.

Le gaz combustible le plus couramment utilisé est l'acétylène. L'hydrogène n'est employé que pour certaines coupes spéciales (grosses épaisseurs, coupage sous l'eau). Dans le cas où le gaz combustible est à haute pression, il faut un manodétendeur.

L'oxygène est livré sous forme de bouteilles, comme pour la soudure. On utilise des manodétendeurs normaux pour les coupes sur épaisseurs moyennes et des manodétendeurs « Gros découpage » pour les fortes épaisseurs.

Le chalumeau coupeur comporte 2 parties distinctes au point de vue fonctionnement :

1°) Le système de chauffe qui fonctionne comme un chalumeau soudeur et produit la flamme nécessaire à l'amorçage et la continuité de la coupe.



2°) Un système de coupe qui dirige le jet d'oxygène de coupe. Sur le matériel moderne le jet d'oxygène passe dans l'axe de buse; la flamme de chauffe l'entoure.

Choix du chalumeau :

On doit adapter sur le chalumeau une buse de puissance convenable suivant l'épaisseur à couper.

Les buses sont graduées, non pas en débits d'oxygène ou d'acétylène comme les buses de chalumeaux soudeurs, mais en diamètre des orifices du jet de coupe.

Une buse de 10/10 possède un orifice de coupe de 10/10 de millimètre.

Une buse de 25/10 possède un orifice de coupe de 25/10 de millimètre.

On a souvent l'habitude, dans les ateliers, d'utiliser des buses trop fortes. Nous donnons, ci-dessous, la liste des principales buses, ainsi que les épaisseurs qu'elles peuvent couper, dans le cas de coupes perpendiculaires au plan des tôles.

Pour les coupes en chanfrein il faut prendre des buses plus puissantes:

— Buse	de	10/10	de	5	à	15	millimètres
— »	»	15/10	de	12	à	40	»
— »	»	20/10	de	40	à	100	»
— »	»	25/10	de	100	à	200	»

Pression d'oxygène de coupe :

La pression d'oxygène de coupe est donnée par les notices remises avec les chalumeaux coupeurs. Dans les ateliers on a tendance à majorer considérablement ces pressions et nous connaissons des ouvriers qui les doublent largement.

Loin d'être facilitées, les coupes sont au contraire rendues plus difficiles : les coupes sont moins propres et la vitesse de coupe diminue par suite de l'apport de froid provoqué par l'oxygène en excès.

Il faut donc s'en tenir strictement aux indications données par le fabricant.

Réglage du chalumeau :

Les pressions d'oxygène et d'acétylène ont été réglées conformément aux notices, les robinets du chalumeau étant ouverts.

On ferme alors l'oxygène de coupe.

On allume le chalumeau et on règle la flamme de chauffe comme celle d'un chalumeau soudeur.

On admet l'oxygène de coupe ; si la flamme se dérègle on la règle à nouveau, en laissant ouvert l'oxygène de coupe.

Exécution des coupes :

Chauffer la pièce avec le chalumeau, **Oxygène de coupe fermé,** au point où l'on veut amorcer la coupe. Quand ce point est à une température d'amorçage, ouvrir en grand l'oxygène de coupe. Attendre que la coupe **débouche,** c'est-à-dire intéresse toute l'épaisseur de la tôle, puis déplacer le chalumeau à la vitesse convenable en suivant le tracé imposé.

Vitesse de coupe :

Si l'on va trop vite, la coupe se désamorce parce que le métal est insuffisamment chauffé. Il faut alors fermer l'oxygène de coupe et amorcer à nouveau.

Dans certains cas la vitesse est limitée par la valeur du « retard », si l'on va trop lentement on risque de fondre les arêtes et de plus les coupes deviennent onéreuses.

En pratique la vitesse de coupe au chalumeau coupeur à main dépend essentiellement de l'habileté de l'opérateur.

Coupage à la machine :

Le coupage à la main est toujours irrégulier en raison des irrégularités dans le déplacement du chalumeau ; pour avoir des coupes économiques, suivant des tracés rigoureux, avec des faces de coupe lisses sans stries, sans oxydes adhérents, on utilise des machines spéciales d'oxy-coupage qui portent des chalumeaux coupeurs.

Les coupes ainsi obtenues peuvent rester brutes, sans limage ni meulage.

L'oxy-coupage mécanique entre dans la vie industrielle moderne et les machines d'oxy-coupage prennent leur place dans les ateliers à côté des autres machines-outils.

Actuellement nombre de machines d'oxy-coupage sont en service dans les Ateliers d'Afrique du Nord.

Applications de l'oxy-coupage :

L'oxy-coupage est utilisé pour la construction en remplacement des cisailles, pour le débitage des profilés, la préparation des chanfreins de soudure, l'exécution, grâce aux machines d'oxy-coupage, de pièces mécaniques pouvant rester en totalité ou en partie, brutes de coupe (bielles, main de ressort, balanciers de suspension de locomotives, roues dentées...).

On l'utilise pour le dérivetage qui peut se faire avec des chalumeaux ordinaires ou mieux, quand on veut conserver les tôles intactes, avec le chalumeau spécial **« dériveteur ».** On se sert aussi du chalumeau coupeur pour la démolition des bateaux, des locomotives, des ponts et charpentes métalliques, etc...

Coupage des aciers :

Les aciers au carbone se coupent facilement.

Les aciers spéciaux que l'on rencontre couramment dans l'industrie se coupent assez aisément, sauf les aciers riches en chrome pour lesquels il faut utiliser des procédés spéciaux qui dépassent le cadre de ce cours.

Coupage de la fonte :

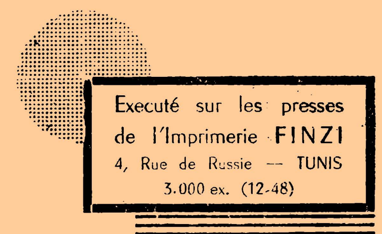
La fonte ne peut pas être coupée au chalumeau ; il existe bien des chalumeaux coupeurs fonte, mais ces appareils font plutôt de la destruction.

Ils rendent néanmoins de grands services dans certains cas particuliers.

Coupage sous l'eau :

On est arrivé à couper sous leau jusqu'à 45 mètres de profondeur ; l'appareillage utilisé est tout à fait spécial et les chalumeaux modernes pour le coupage sous l'eau sont alimentés en hydrogène au lieu d'acétylène.

Il faut pour couper sous l'eau un matériel bien au point, en parfait état et surtout des scaphandriers entraînés.


Executé sur les presses
de l'Imprimerie FINZI
4, Rue de Russie — TUNIS
3.000 ex. (12-48)